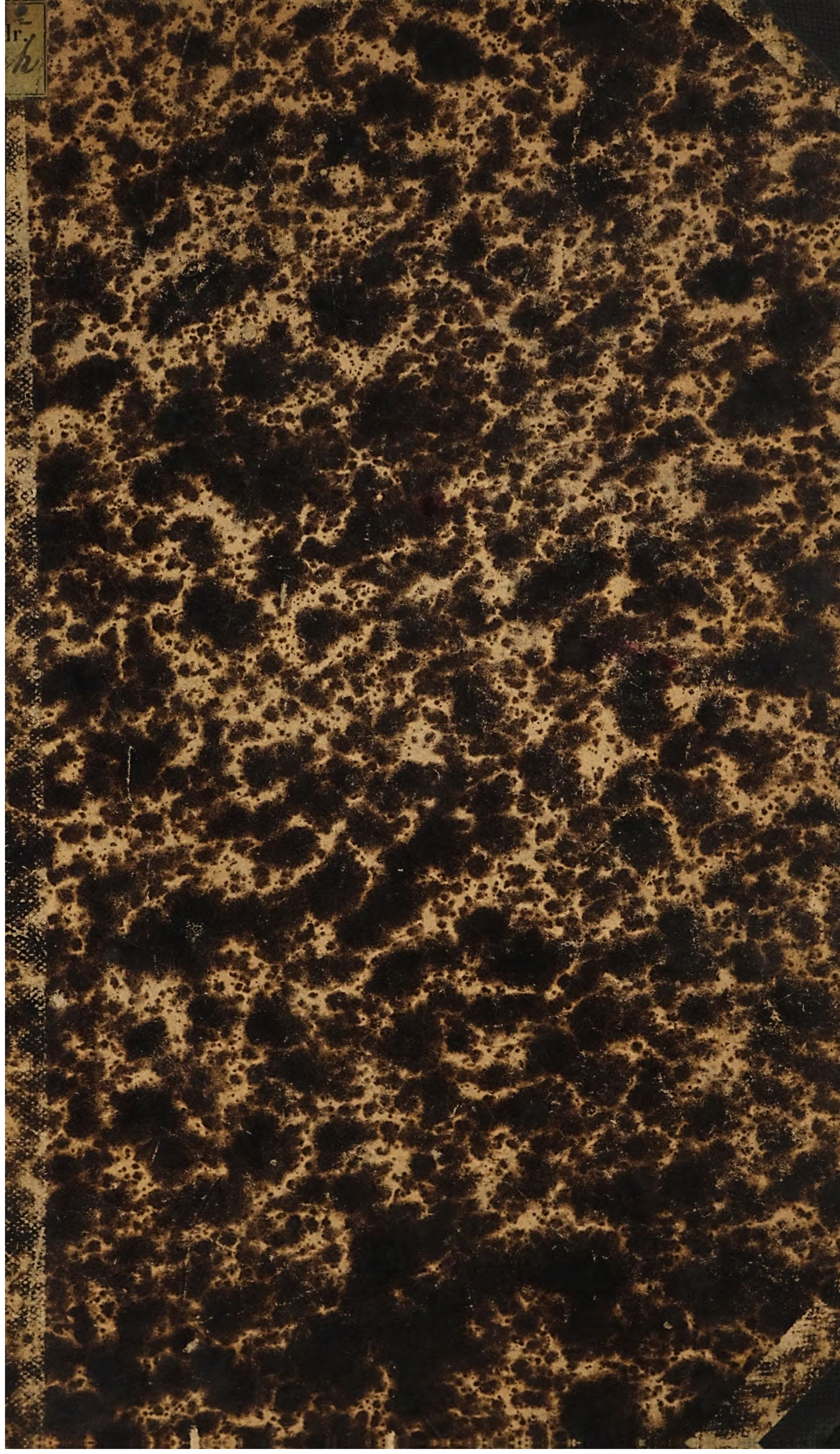




A. hydr. 8°

Gerke

47 gh

(For Oulton's list 2° 13 6c)

C

Steinschnitt

der

Böschungsflügel und schiefen Brückengewölbe

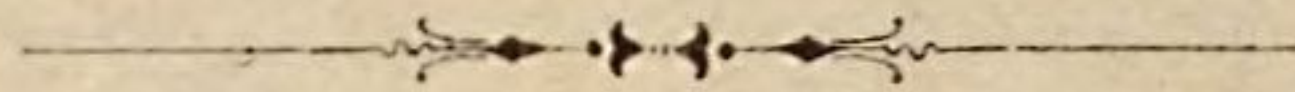
von

R. Gerke,

dipl. Ingenieur und Privatdocent der technischen Hochschule zu Hannover.

Für Bau-Ingenieure.

Mit einem Atlas von 20 Tafeln.



HANNOVER.

Schmorl & von Seefeld.

1885.



Druck von Th. Schäfer in Hannover.

Vorwort.

Bei den grossartigen Bauten, welche der Bauingenieur in den letzten Jahrzehnten in Wasser- und Eisenbahnbau ausführt, sind auch die Steinschnittkonstruktionen zu einer grösseren Bedeutung gelangt, wie dieses hauptsächlich bei der Berliner Stadtbahn zu Tage getreten ist. Für alle Bauwerke, welche aus Hausteinen ausgeführt werden, ist die Anordnung der einzelnen Steine von der allergrössten Wichtigkeit; denn dieselben müssen nicht allein den statischen Gesetzen des Bauwerks entsprechen, sondern auch den ästhetischen Rücksichten Genüge leisten. Ausser diesen Anforderungen hat der Ingenieur sein Augenmerk auf die möglichst billige Herstellung der einzelnen Steine zu richten. Letzteres wird dadurch erreicht, dass der Steinkörper, aus welchem der zu bearbeitende Stein hergestellt werden soll, zunächst den üblichen Dimensionen entspricht, damit er möglichst billig geliefert werden kann, während andererseits darauf zu sehen ist, dass er bei der Bearbeitung möglichst wenig Abfall giebt, sodass nicht allein das grösste Volumen des Steinkörpers zur Verwendung gelangt, sondern auch an Arbeitslohn Ersparungen eintreten.

Obgleich die Bearbeitung eines Steines mehr oder weniger von der Kunstfertigkeit des Steinmetzen abhängt, so ist es doch Sache des Ingenieurs, bei den weniger einfachen Konstruktionen die einzelnen Operationen, welche an dem Steinkörper nach und nach vorgenommen werden müssen, um die gewünschten Steinflächen zu erhalten, dem Arbeiter anzugeben und demselben solche Zeichnungen zu übermitteln, dass die Herstellung der Schablonen ohne weiteres ausgeführt werden kann. Aus diesem Grunde ist es nothwendig, dass die Detailentwürfe in einem möglichst grossen Massstabe derart gezeichnet werden, dass der Steinmetz im Stande ist, der Zeichnung jede nothwendige Länge zu entnehmen. Diesem entsprechend sind auch die beifolgenden Tafeln ausgeführt.

Nachdem der Entwurf eines aus Werksteinen auszuführenden Bauwerks festgestellt ist, hat der Ingenieur unter Berücksichtigung der oben angegebenen Anforderungen, die Lage der einzelnen Steinflächen zu bestimmen. Ist dieses geschehen, so ergiebt sich die Darstellung eines Steines durch die Anwendung der Grundprinzipien der darstellenden Geometrie. Für den Fall, dass dem in der Praxis stehenden Ingenieur die Lösungen einiger vorkommenden Aufgaben jener Wissenschaft nicht gleich gegenwärtig sein sollten, wollen wir dem Selbststudium zu Hilfe kommen, indem wir in dem I. Abschnitt die wichtigsten Aufgaben aus der orthogonalen Projektionslehre in Rücksicht auf Steinschnittkonstruktionen vorausschicken, wobei wir uns auf die Ebene und Gerade beschränken. Wir bemerken jedoch ausdrücklich, dass diese Aufgabensammlung nicht etwa Neues bringen soll, sondern nur den Zweck hat die Lösungen derjenigen Aufgaben, welche

beim Steinschnitt — besonders bei den Böschungsflügeln — vorzukommen pflegen, dem Konstrukteur in das Gedächtniss zurückzurufen und hierbei auf die praktischen Konstruktionsmethoden aufmerksam zu machen. Aus diesem Grunde sind die Aufgaben und ihre Lösungen so kurz wie möglich gehalten; bei den Zeichnungen der Tafeln 1 und 2 ist eine solche Darstellung der Geraden und Ebenen gewählt, dass man schon an der Figur die gestellte Aufgabe ohne weiteres erkennen kann.

Aus der grossen Zahl der verschiedensten Anwendungen der Steinschnittkonstruktionen in dem Gebiete des Bauingenieurs haben wir in Nachfolgendem die Böschungsflügel und das schiefe Brückengewölbe mit veränderlichem Fugenwinkel eingehend besprochen, wobei wir jedoch annehmen, dass die statischen Untersuchungen bereits ausgeführt sind.

Die Ausführung eines schiefen Gewölbes mit veränderlichem Fugenwinkel ist mit Schwierigkeiten verknüpft, da alle Steine verschiedene Gestalt erhalten. Aus diesem Grunde wählt man in der Praxis — falls nicht überhaupt die eigentliche schiefe Gewölbkonstruktion umgangen wird — eine derartige Anwendung, dass der Fugenwinkel konstant bleibt. In dem Nachfolgenden wollen wir nun zu beweisen versuchen, dass die Schwierigkeiten, welche bei der Herstellung eines schiefen Gewölbes mit veränderlichem Fugenwinkel vorliegen, dadurch bedeutend vereinfacht werden können, dass man sowohl bei dem Entwerfen des Gewölbes, als auch bei der Bearbeitung der Steine Schablonen benutzt, bei denen zur Erzielung einer grossen Genauigkeit die einzelnen Kurvenpunkte nicht auf graphischem sondern analytischem Wege festgelegt werden. Zur Erleichterung dieser Kurvenkonstruktionen dienen Hilfstabellen. Nach der angegebenen Methode hat man zu der Bearbeitung eines Steines nur Schablonen für die Stossfläche nöthig. Da die Steine symmetrisch auf beiden Gewölbhälften angeordnet werden, so entspricht die Anzahl der erforderlichen Schablonen im Allgemeinen der Anzahl der Steine einer Gewölbhälfte. Die Arbeiten des Steinmetzen bei der Herstellung eines Steines vom schiefen Brückengewölbe mit veränderlichem Fugenwinkel unterscheidet sich bei der mitgetheilten Methode nicht wesentlich von derjenigen Arbeit, die ein Stein eines schiefen Gewölbes mit konstantem Fugenwinkel erfordert. Die Mehrarbeit liegt lediglich in der Herstellung einer grösseren Anzahl der nothwendigen Schablonen und in der grösseren Aufmerksamkeit, die der Ingenieur den Arbeiten des Steinmetzen widmen muss.

Wenn wir nun aus diesem Grunde auch die Herstellung eines schiefen Brückengewölbes mit konstantem Fugenwinkel der obigen Anordnung vorziehen müssen, so ist die letzte Anordnung doch jedenfalls dann sehr vortheilhaft anzuwenden, wenn nur eine kleine Anzahl von Hausteinen verlangt wird, wie dieses der Fall ist bei einem schiefen Brückengewölbe, bei welchem nur die Stirnbogen aus Quader, das Mittelstück aber aus Ziegelsteinen ausgeführt werden soll.

Möge die vorliegende Arbeit unter den Fachgenossen eine freundliche Aufnahme finden!

Hannover, im März 1885.

Gerke.

Inhalts-Verzeichniss.

I. Abschnitt.

	Seite.	Tafel.
Die wichtigsten Aufgaben aus der orthogonalen Projektionslehre in Rücksicht auf Steinschnitt-Konstruktionen	1	1 u. 2

II. Abschnitt.

Böschungsflügel.

§ 1. Allgemeine Anordnung der Böschungsflügel.	13	3
§ 2. Das Gerippe der Böschungsflügel	13	3
I. Der rechtwinklige Flügel	15	„
1. Der rechtwinklige Flügel mit senkrechter Vorder- fläche	15	„
2. Der rechtwinklige Flügel mit geböschter Vorder- fläche	16	„
II. Der schräge Flügel	16	„
3. Der schräge Flügel mit senkrechter Vorderfläche .	16	„
4. Der schräge Flügel mit geböschter Vorderfläche .	16	„
III. Die Parallelfügel	20	„
IV. Die concaven Böschungsflügel	20	„
1. Der concaveylindrische Flügel mit senkrechter Vorderfläche	20	„
2. Der concaveylindrische Flügel mit geneigter Vorder- fläche.	21	„
3. Der concavkegelförmige Flügel	22	„
V. Die convexen Böschungsflügel	24	„
1. Der convexeylindrische Flügel mit senkrechter Vorderfläche	25	„
2. Der convexeylindrische Flügel mit geneigter Vorder- fläche	25	„
3. Der convexkegelförmige Flügel	26	„
§ 3. Die am Böschungsflügel vorkommenden Schnittebenen . .	27	4
Die Schnittebene ist:		
1. rechtwinklig zu der Flügel-Abdeckungsfläche und zu den Flügeloberkanten	27	„
2. rechtwinklig zu der Flügel-Abdeckungsfläche und zu der Querrissebene	28	„
3. vertikal und rechtwinklig zur vorderen Seitenfläche des Flügels.	29	„

	Seite.	Tafel.
4. parallel der Flügel - Abdeckungsfläche	30	4
5. rechtwinklig zur Flügel - Abdeckungsfläche und zur vorderen Seitenfläche des Flügels	30	„
§ 4. Die Abdeckung des Böschungsflügels und die Benennungen der einzelnen Flächen der Decksteine	33	5
§ 5. Die Konstruktion der Böschungsflügel mit Anwendung der Decksteine, sowie die Austragung und Bearbeitung der letzteren	34	„
§ 6. Die Anordnung der Flügeldeckquader beim rechtwinkligen und schrägen Böschungsflügel	37	„
1. Der rechtwinklige Flügel mit senkrechter Vorder- fläche	37	„
2. Der rechtwinklige Flügel mit geböschter Vorder- fläche	39	6
3. Der schräge Flügel mit senkrechter Vorderfläche .	42	7
4. Der schräge Flügel mit geböschter Vorderfläche .	45	„
Mit drei verschiedenen Anordnungen		8 — 10
§ 7. Die Anordnung der Flügeldeckplatten beim schrägen Böschungsflügel	51	„
Mit zwei verschiedenen Anordnungen		11 u. 12
§ 8. Die concaven Böschungsflügel	56	„
1. Der concavcylindrische Flügel mit senkrechter Vorderfläche	56	„
Mit zwei verschiedenen Anordnungen		13 u. 14
2. Der concavcylindrische Flügel mit geneigter Vorder- fläche	62	15
3. Der concavkegelförmige Flügel	64	16
§ 9. Die convexen Böschungsflügel	66	17

III. Abschnitt.

Schiefe Brücken.

A. Allgemeines.

§ 1. Einleitung	68	18
§ 2. Die wichtigsten Gewölbkonstruktionen	70	„
§ 3. Das Gerippe des Gewölbes	72	„
I. Der Längsschnitt des Gewölbes	72	„
II. Die Abwicklung der Gewölbfläche	73	„
1. Das graphische Verfahren	74	„
2. Das analytische Verfahren:		
α. Die Breite der abgewickelten innern Gewölb- fläche	75	„
β. Die Abwicklung des Stirnbogens	77	„
III. Die Projektionen eines Punktes auf der Gewölbfläche und das Niederlegen des Punktes	79	„

B. Das schiefe Brückengewölbe mit veränderlichem Fugenwinkel.

	Seite.	Tafel.
§ 4. Allgemeines	79	18
§ 5. Die verschiedenen Methoden zur Festlegung der Lagerfugen	80	18
§ 6. Die Konstruktion der Lagerfugen auf graphischem Wege	81	„
§ 7. Die Festlegung der Projektionen der Lagerfugen mittels Koordinaten.	83	„
1. Der Stirnbogen des Gewölbes ist kreisförmig und der Normalschnitt elliptisch	83	„
a) Die vertikale Projektion der Lagerfuge. . .	83	„
b) Die horizontale Projektion der Lagerfuge .	85	„
c) Die Projektion der Lagerfuge im Längsschnitt	85	„
d) Die niedergelegte Lagerfuge	86	„
2. Der Stirnbogen des Gewölbes ist elliptisch und der Normalschnitt kreisförmig	92	„
a) Die vertikale Projektion der Lagerfuge. . .	92	„
b) Die horizontale Projektion der Lagerfuge .	94	„
c) Die Projektionen der Lagerfuge im Längsschnitt	94	„
d) Die niedergelegte Lagerfuge	95	„
§ 8. Die Wahl der Stossfläche und die Festlegung der Stossfuge in den verschiedenen Projektionen	98	18
1. Die Projektion der Stossfuge im Längenschnitt des Gewölbes	99	„
2. Die niedergelegte Stossfuge	99	„
§ 9. Die äussere Gewölblfläche	100	„
§ 10. Die Grösse der Fugenwinkel	101	„
§ 11. Die Ausführung eines schiefen Brückengewölbes mit veränderlichem Fugenwinkel	102	19 u. 20
1. Das Gerippe des Gewölbes.	102	„
2. Die Festlegung der Lager- und Stossfugen. . . .	104	„
3. Austragung des Steines	106	„
4. Die Bearbeitung des Steines	111	„

Literatur.

A. Ueber Böschungsflügel.

- Winkler E.**, Dr. Professor. Vorträge über Brückenbau, gehalten an der k. k. technischen Hochschule in Wien. — Steinschnitt der Flügelmauern und schiefen Brücken. 2. Auflage. Wien 1875. — Gerold & Comp., Wien.
- Frauenholz**, Professor. Bau-Konstruktions-Lehre für Ingenieure. Als Leitfaden zu seinen Vorträgen an der k. polytechnischen Schule in München. 1 Band. Steinkonstruktionen. München, Ackermann 1877.

B. Ueber schiefe Gewölbe.

- Buck.** A practical and theoretical essay on oblique bridges. — London 1839.
- Hart.** A practical treatise on the construction of oblique arches. — London 1839. — Eine deutsche Uebersetzung findet sich in Romberg's Bau-Zeitung, 1847.
- Hoffmann.** Construction der Anlaufsteine für schiefe Ziegelgewölbe, und Bemerkungen über schiefe Ziegelgewölbe im Allgemeinen. — Wien 1845.
- Heider.** Theorie der schiefen Brücken. — Wien 1846.
- Basforth.** A practical treatise on the construction of oblique bridges with spiral and with equilibrated courses. London 1850. — Deutsch von Härtel unter dem Titel: Praktische Anweisung zu der Construction schiefer Brücken mit Spiral- und abgewogenen Schichten. Weimar 1851.
- Schuberth.** Ueber Stützung und Construction der geraden, insbesondere der schiefen Wölbbögen. — Programm der polytechnischen Schule in Dresden, 1854.
- Donaldson.** A treatise on the art of constructing oblique arches with spiral courses. — London 1867.
- Hoffmann.** Theoretische und praktische Anleitung zum Entwerfe und zur Ausführung schiefer Ziegel- und Quaderbrücken-Gewölbe. — Förster's Bauzeitung, 1871.
- Heider.** Der Bau der schiefen Brücke über den Sannfluss bei Steinbrück für die südliche Staats-Eisenbahn Wien-Triest. Graz 1872.
- Loignon.** Ponts biais. Tracé des épures, coupe des pierres et détails sur la construction des différents systèmes d'appareils de voutes biaises, mis a le portée de tous les agents de travaux at appareilleurs. — Paris 1872.
- Bauernfeind's** Vorlegeblätter zur Brückenbaukunde mit erläuterndem Texte. In 2. Auflage neu bearbeitet von A. Doehle mann und Frauenholz. Erstes Heft. Steinerne und hölzerne Brücken. Stuttgart. Cotta 1872.
- Winkler E.**, Dr. Professor. Vorträge über Brückenbau, gehalten an der k. k. technischen Hochschule in Wien. — Steinschnitt der Flügelmauern und schiefen Brücken. 2. Auflage. Wien 1875. — Gerold & Comp., Wien.
- Heinzerling.** Die Brücken der Gegenwart. 2. Abtheilung. Steinerne Brücken. Heft 2. Aachen, Mayer 1877.

I. Abschnitt.

Die wichtigsten Aufgaben aus der orthogonalen Projektionslehre in Rücksicht auf Steinschnitt-Konstruktionen.

Aufgabe 1.

Gegeben: Die horizontale und vertikale Projektion eines Punktes.

Gesucht: Die Projektion des Punktes in der Querrissebene.

Lösung: Man lege die letztere um die Y oder Z Axe mit dem Punkte nieder.

Fig. 1 u. 2.
Tafel 1.

Aufgabe 2.

Gegeben: Die horizontale und vertikale Projektion eines Punktes.

Gesucht: Die Projektion des Punktes in einer beliebigen zu einer der beiden Projektionsebenen normal stehenden Ebene S.

Lösung: Ist die gegebene Ebene vertikal, Fig. 3, so fällt die gesuchte horizontale Projektion des Punktes mit der horizontalen Spur der Ebene zusammen, steht die Ebene normal zu VPE,*) Fig. 4, so liegt die gesuchte vertikale Projektion in der vertikalen Spur der Ebene S, Fig. 4.

Fig. 3 u. 4.

Aufgabe 3.

Gegeben: Die Projektionen einer Geraden in der HPE u. VPE.*)

Gesucht: Die Projektion derselben in der Querrissebene.

Lösung: Bestimme die 3. Projektion der Endpunkte der Geraden nach Aufg. 1, Fig. 5 und 6.

Fig. 5 u. 6.

Aufgabe 4.

Gegeben: Die Projektionen einer unbegrenzten Geraden.

Gesucht: Ihre Durchgänge mit der HPE und VPE.

*) HPE bedeutet: Horizontale Projektions-Ebene.
VPE " Vertikale Projektions-Ebene.
QE " Querriss-Ebene.

Fig. 7—11. Lösung: Man erhält den horizontalen Durchgang r_1 , Fig. 7—9, Tafel 1. wenn man die vertikale Projektion der Geraden bis zur Axe verlängert und in r_0 eine Normale zu derselben errichtet bis dieselbe die verlängerte horizontale Projektion der Geraden in r_1 schneidet. Verlängert man die horizontale Projektion der Geraden bis zur Axe und errichtet hier in q_0 eine Normale, so ist ihr Schnittpunkt mit der verlängerten vertikalen Projektion der Geraden der gesuchte vertikale Durchgang q_{11} .

Sind beide Projektionen der Geraden normal zur Axe, so nehme man die QE zu Hülfe, Fig. 10 u. 11.

Aufgabe 5.

Gegeben: Die Projektionen einer Geraden.

Gesucht: Die Neigungen der Geraden zur HPE und zur VPE, sowie ihre wahre Länge.

Fig. 12. Lösung 1: Bestimme die Durchgänge der Geraden und lege letztere in die HPE oder VPE nieder, Fig. 12.

Fig. 13. Lösung 2: Lege die Gerade um ihre horizontale oder vertikale Projektion nieder, Fig. 13.

Fig. 14. Lösung 3: Konstruiere ein rechtwinkliges Dreieck, in welchem eine Kathete die eine Projektion der Geraden und die andere die Differenz der Abstände der Endpunkte der Geraden von der gleichnamigen Projektionsebene sind. Fig. 14.

Sind die Projektionen der Geraden normal zur Axe, so verwende die Querrissebene, Figur 10 u. 11.

Aufgabe 6.

Gegeben: Die Projektionen einer Geraden in der H und VPE.

Gesucht: Ihre Projektionen in der Querrissebene.

Fig. 10 u. 11. Lösung: Siehe Fig. 10 u. 11.

Aufgabe 7.

Gegeben: Die Projektionen einer Geraden und eine beliebige Vertikalebene S.

Gesucht: Die Projektionen der Geraden in der gegebenen Ebene.

Fig. 15. Lösung: Die gesuchte horizontale Projektion fällt in die horizontale Spur der gegebenen Ebene, Fig. 15.

Fig. 16. Analog verfähre, wenn die gegebene Ebene normal zur VPE steht. Fig. 16.

Aufgabe 8.

Gegeben: Die Projektion der Geraden in der Querrissebene und die Richtung ihrer horizontalen Projektion unter v .

Gesucht: Die horizontale und vertikale Projektion der Geraden, ihre wahre Länge und ihre Neigung zur HPE.

Lösung: Man bestimme auf der gegebenen Richtungslinie der horizontalen Projektion die Endpunkte der Geraden analog nach Aufg. 3 und konstruiere hierauf ihre wahre Länge in den Neigungswinkel nach Aufg. 5, Fig. 17 u. 18. Fig. 17 u. 18.
Tafel 1.

Ist die gegebene Richtung normal zur Axe, Fig. 19, so hat man die wahre Länge der Geraden und ihre Neigung zur HPE bereits in der Querrissebene selbst. Fig. 19.

Aufgabe 9.

Gegeben: Die Projektionen zweier sich schneidenden Geraden.

Gesucht: Ihre gemeinsame Ebene.

Lösung: Die Verbindungslinie der Durchschnittspunkte der gleichnamigen Projektionen muss normal zur Axe stehen. Man bestimme nach Aufg. 4 die Durchgänge der Geraden, so erhält man durch die Verbindungslinie der gleichnamigen Durchgänge die Spuren der gesuchten Ebene, Fig. 20 u. 21. Fig 20 u. 21.

Aufgabe 10.

Gegeben: Zwei parallele Gerade.

Gesucht: Ihre gemeinsame Ebene.

Lösung: Verfahre wie vorhin, Fig. 22. Fig. 22.

Aufgabe 11.

Gegeben: Die Spuren einer Ebene.

Gesucht: Die Neigung der Ebene zur HPE.

Lösung: Der gesuchte Winkel liegt in einer beliebigen Vertikalebene, deren horizontale Spur normal zur horizontalen Spur der gegebenen Ebene steht.

Es sind dann $r_1 q_0$ und $q_0 q_{11}$ Fig. 23 die Katheten eines rechtwinkligen Dreiecks, welches bei r_1 den verlangten Winkel α_1 enthält. Fig. 23.

Steht die Ebene normal zur VPE, so giebt die vertikale Spur den gesuchten Winkel α_1 direkt an; ist die Ebene normal zur Querrissebene, so erhält man mit Hülfe von letzterer den Neigungswinkel α_1 . Fig. 24. Fig. 24.

Die Neigungen einer Ebene oder einer Geraden zur HPE werden in der Baukunst gewöhnlich nicht durch die Grösse des Neigungswinkels ausgedrückt, sondern durch das Verhältniss der beiden Katheten des rechtwinkligen Dreiecks, welches den Winkel α_1 enthält. Meist wird die Höhe der Einheit gleich gesetzt, so dass man z. B. bei Böschungen von einer Neigung $1:1\frac{1}{2}$, bei Futtermauern $1:\frac{1}{4}$ spricht. Bei Tracirungen dagegen wird neuerdings die Neigung der Ebene oder Gerade auf die Einheit der Horizontalen bezogen, so dass man z. B. bei einer Steigung von $1:200$ zu setzen hat: Steigen: 0,005, d. h. auf einen Meter der Horizontalen steigt die Trace um 5 mm.

Aufgabe 12.

Gegeben: Die Spuren zweier Ebenen.

Gesucht: Die Durchschnittslinie der Ebenen.

Fig. 25—33. Lösung: Die Schnittpunkte der gleichnamigen Spuren sind die
Tafel 1.

Durchgänge der gesuchten Geraden. Ermittle daher aus letzteren analog nach Aufg. 4 die Projektionen der Geraden, Fig. 25 bis 29. Sind die horizontalen Spuren parallel, so ist die Durchschnittslinie horizontal und den Spuren parallel, Fig. 30. Ist die eine Ebene horizontal, Fig. 31, so ist die horizontale Projektion der Durchschnittslinie der horizontalen Spur der anderen Ebene parallel. Sind die Schnittpunkte der gleichnamigen Spuren des Raumes wegen nicht beide zu konstruiren, so verwende eine horizontale Hilfsebene, Fig. 32, und bestimme den Schnittpunkt dieser mit den beiden gegebenen Ebenen dadurch, dass man von m_1 bzw. n_1 zu den Spuren $T_0 T_1$ bzw. $S_0 S_1$ Parallele zieht, durch $r_1 s_1$ und $r_0 s_{11}$ ist dann die Richtung der gesuchten Durchschnittslinie festgelegt. Statt der horizontalen Hilfsebene kann man auch eine vertikale Hilfsebene benutzen, welche zur VPE parallel angenommen wird, Fig. 33.

Sind beide Durchschnittspunkte der gleichnamigen Spuren des Raumes wegen nicht zu ermitteln, so verwende zwei horizontale Hilfsebenen oder zwei Vertikalebene, welche der VPE parallel gestellt werden. Durch $s_1 t_1$ und $s_{11} t_{11}$ Fig. 33 ist dann die Lage der Durchschnittslinie bestimmt.

Fig. 34.

Stehen beide Ebenen normal zur QE, so verwende entweder letztere als Hilfsebene, oder nehme eine beliebige

Ebene E zu Hilfe, Fig. 34, und bestimme die Durchschnitts-
linie dieser mit den beiden gegebenen Ebenen. Der Schnitt-
punkt dieser Durchschnittslinien gehört auch der gesuchten
Geraden an und da letztere der Axe parallel sein muss, so
ist durch den Punkt s ihre Lage bestimmt.

Sind die beiden gegebenen Ebenen vertikal, Fig. 35,
so ist auch ihre Durchschnittslinie vertikal.

Fig. 35.
Tafel 1.

Aufgabe 13.

Gegeben: Eine Ebene.

Gesucht: Die Ebene soll um ihre horizontale Spur niedergelegt
werden.

Lösung: Verwende eine beliebige senkrechte Hilfsebene, deren Fig. 36 u. 37.
horizontale Spur zur horizontalen Spur der gegebenen Ebene
normal steht und lege den Schnittpunkt der vertikalen Spuren
beider Ebenen nach Fig. 36 oder 37 nieder.

Aufgabe 14.

Gegeben: Eine Ebene und die horizontale Projektion einer
in derselben liegenden Geraden.

Gesucht: Die vertikale Projektion der Geraden.

Lösung: Eine Gerade liegt in einer Ebene, wenn ihre Durch-
gänge in die gleichnamigen Spuren der Ebene fallen, bezw.
wenn sie zwei Punkte mit der Ebene gemein hat.

Bestimme daher, Fig. 38—40, die Durchgänge der Fig. 38—40.
Geraden, so wird durch $r_0 q_{11}$ die gesuchte vertikale Pro-
jektion der Geraden festgelegt.

Ist die gegebene Ebene, sowie die horizontale Pro- Fig. 41.
jektion der Geraden zur QE normal, so verwende eine
beliebige Hilfsgerade rq , welche a_{11} festlegt Fig. 41.

Ist l_1 der horizontalen Spur $S_0 S_1$, Fig. 42, parallel, so Fig. 42.
ist die Gerade horizontal, also l_{11} parallel der Axe.

Fig. 43. Lege in die gegebene Ebene zwei horizontale Fig. 43.
Hilfsgeraden $n_1 n_{11}$ und $m_1 m_{11}$ und bestimme die vertikale
Projektion der Schnittpunkte derselben mit der Geraden l .

Aufgabe 15.

Gegeben: Eine Ebene und die horizontale Projektion eines in
derselben liegenden Punktes.

Gesucht: Die vertikale Projektion des Punktes.

Fig. 44—47. Lösung: Lege durch den Punkt in die gegebene Ebene eine horizontale Hilfsgerade, Fig. 44 und 46, oder eine Gerade, welche der VPE parallel ist, Fig. 47, oder verwende die QE, Fig. 45.

Aufgabe 16.

Gegeben: Eine Ebene und in derselben ein Punkt.

Gesucht: Der Punkt soll um die horizontale Spur der gegebenen Ebene niedergelegt werden.

Fig. 48 u. 49. Lösung: Ziehe von a_1 , Fig. 48 u. 49, eine Normale zur horizontalen Spur und mache $p_1(a)$ gleich der Hypothenuse eines rechtwinkligen Dreiecks, dessen eine Kathete $a_1 p_1$ und dessen andere Kathete die Entfernung des Punktes von der HPE.

Aufgabe 17.

Gegeben: Eine Ebene und in derselben eine Gerade.

Gesucht: Die Gerade soll um die horizontale Spur der Ebene niedergelegt werden.

Fig. 50—56. Lösung: Lege entweder beide Endpunkte der Geraden nach der vorigen Aufgabe nieder, oder verlängere die Gerade bis zu ihrem horizontalen Durchgange und lege einen Punkt der ersteren nieder. Fig. 50 bis 56. In Fig. 52 u. 53 ist die Gerade der QE parallel.

Aufgabe 18.

Gegeben: Eine Ebene und eine um die horizontale Spur der letzteren niedergelegte Gerade.

Gesucht: Die Projektionen der Geraden in der Ebene.

Fig. 57—60. Lösung: Verfahre analog der vorigen Aufgabe, Fig. 57—60. Ist die niedergelegte Gerade der horizontalen Spur der gegebenen Ebene parallel, so ist dieselbe im Raume horizontal, also ihre vertikale Projektion der Axe und ihre horizontale Projektion der horizontalen Spur der Ebene parallel. Man braucht dann nur einen Punkt zurückzuschlagen. Fig. 59 u. 60.

Lehrsatz: Parallele Geraden haben parallele Projektionen.

Aufgabe 19.

Gegeben: Zwei parallele Gerade.

Gesucht: Die kürzeste Entfernung derselben.

Lösung: Bestimme nach Aufgabe 10 die horizontale Spur der gemeinsamen Ebene beider Geraden und lege nach Aufg. 17 die Geraden um erstere nieder, so ist der normale Abstand E die gesuchte Entfernung. Fig. 61—63. Tafel 2.

Aufgabe 20.

Gegeben: Eine Ebene und in derselben eine Gerade, sowie die Strecke E .

Gesucht: Ein zweite Gerade, welche in der gegebenen Ebene liegt und der gegebenen Geraden in der Entfernung E parallel ist.

Lösung: Lege die gegebene Gerade mit der Ebene um die horizontale Spur der letzteren nieder, ziehe zu der niedergelegten Geraden in der Entfernung E eine (resp. zwei) Parallele und schlage die Ebene mit dieser zurück. In den Fig. 64—68 ist die gegebene Gerade nach den verschiedensten Methoden niedergelegt. Fig. 64—68.

Aufgabe 21.

Gegeben: Eine Ebene und ausserhalb derselben eine Gerade.

Gesucht: Den Durchgang der Geraden durch die Ebene S .

Lösung: Lege durch die Gerade eine vertikale Hilfsebene, bestimme die Schnittlinie dieser mit der gegebenen Ebene, so muss in derselben der gesuchte Durchgang x_1 , x_{11} sich befinden, Fig. 69 und 73; oder lege durch die Gerade eine Ebene, welche zur VPE rechtwinklig steht, Fig. 70, 71, und verfare wie vorhin. Ist die gegebene Gerade der QE parallel, so verwende eine zu derselben parallelen Hilfsebene, Fig. 72 und 74, und ermittle aus x_{111} die Projektionen x_1 u. x_{11} . Den Durchgang einer vertikalen Geraden findet man mit Hilfe einer horizontalen Geraden, Fig. 75. Fig. 69—75.

Aufgabe 22.

Gegeben: Eine Ebene und ein Punkt ausserhalb derselben.

Gesucht: Die kürzeste Entfernung des Punktes von der Ebene.

Lösung: Von den mannigfaltigen Lösungen sei hier nur folgende angeführt: Man lege durch den Punkt eine vertikale Hilfsebene, deren horizontale Spur rechtwinklig zur horizontalen Spur der gegebenen Ebene steht und lege dieselbe mit dem Punkte in die HPE nieder. Von dem niedergelegten Punkte ziehe eine Normale zur niedergelegten Durchschnittslinie beider Ebenen, so giebt diese die gewünschte Entfernung. Fig. 76.

Lehrsatz.

Fig. 77.
Tafel 2.

Eine Gerade steht senkrecht auf einer Ebene, wenn ihre Projektionen rechtwinklig zu den gleichnamigen Spuren der Ebene stehen und umgekehrt; sind die Projektionen einer Geraden rechtwinklig zu den gleichnamigen Spuren der Ebene, so steht die Gerade rechtwinklig zur Ebene. In letzterem Falle kann eine Ausnahme eintreten, resp. es muss eine Ergänzung hinzugefügt werden. Sind nämlich die Spuren parallel der Axe, so muss die Gerade auch in der Querrissebene normal zur gegebenen Ebene stehen; es muss also $a_{111} b_{111}$, Fig. 77, rechtwinklig zu $(r_1) q_{11}$ sein.

Aufgabe 23.

Gegeben: Eine Ebene und ein Punkt.

Gesucht: Eine Gerade, welche den Punkt enthält und zur Ebene normal steht, sowie ihr Durchgang mit der Ebene.

Fig. 78. Lösung: Ziehe durch die Projektionen des Punktes Normale zu den gleichnamigen Spuren und bestimme den Durchgang der Geraden nach Aufg. 21 Fig. 78. Ermittelt man aus $a_1 x_1$ und $a_{11} x_{11}$ die wahre Länge von $a x$ nach Aufg. 5, so erhält man die Entfernung des Punktes a von der Ebene S .

Aufgabe 24.

Gegeben: Eine Gerade.

Gesucht: Eine beliebige Ebene, welche zur gegebenen Geraden rechtwinklig steht, sowie der Durchgang der letzteren mit ersterer.

Lösung: Ziehe zu einer Projektion der Geraden eine beliebige Normale bis zur Axe und von hieraus eine solche zur anderen Projektion der Geraden, so hat man die Spuren der gesuchten Ebene. Den Durchgang der Geraden findet man folgendermassen:

Fig. 79—82.

Fig. 83 u. 84.

Fig. 85 u. 86

1. Mittels einer normal zur HPE oder VPE durch die Gerade gelegte Hilfsebene nach Aufg. 21 Fig. 79—82.
2. Man legt durch die Gerade eine beliebige Hilfsebene T , so muss auf der Schnittlinie beider Ebenen der gesuchte Durchgang liegen. Fig. 83 und 84. Bei letzterer ist die Hilfsebene normal zur QE angenommen.
3. Man klappt die Gerade um ihre horizontale Projektion nieder und konstruiert von dem Durchschnittspunkte der letzteren mit der horizontalen Spur der Ebene

eine Normale zur niedergelegten Geraden, welche den gesuchten Durchgang durch (x), Fig. 85 und 86, festlegt. Durch Zurückklappen der Geraden erhält man die Projektionen des Durchgangspunktes.

Ist die eine Projektion des gesuchten Durchganges nach einer der angegebenen Methoden ermittelt, erhält man aber zur Bestimmung der anderen Projektion desselben durch orthogonales Projeciren einen zu spitzen Schnitt, so verwende nach Aufg. 15 eine horizontale Hilfsgerade, oder eine solche, welche der VPE parallel ist und in der zur Geraden normalen Ebene sich befindet. Analog den Figuren 87 u. 88.

Aufgabe 25.

Gegeben: Eine Gerade und auf derselben ein Punkt.

Gesucht: Eine Ebene, welche den Punkt enthält und zur gegebenen Geraden rechtwinklig steht.

Lösung: Man lege durch den Punkt eine zur VPE parallelen Hilfsgerade, deren vertikale Projektion zur gleichnamigen Projektion der gegebenen Geraden rechtwinklig steht und bestimme ihren horizontalen Durchgang r_1 , Fig. 87. Letzterer gehört auch der horizontalen Spur der gesuchten Ebene an, verfare daher nach Aufg. 24.

Fig. 87.
Tafel 2.

Statt der soeben angeführten Hilfsgerade, kann man letztere auch horizontal anordnen, derart, dass ihre horizontale Projektion rechtwinklig zur gleichnamigen Projektion der Geraden steht. Man hat dann den vertikalen Durchgang q_{11} dieser Hilfsgeraden zu bestimmen, welcher in der vertikalen Spur der gesuchten Ebene liegt, Fig. 88.

Fig. 88.

Sind die Projektionen der gegebenen Geraden zur Axe rechtwinklig, Fig. 89, so verwendet man am vortheilhaftesten die QE.

Fig. 89.

Aufgabe 26.

Gegeben: Zwei parallele Gerade.

Gesucht: Die Projektionen einer beliebigen Geraden, welche im Raume normal zu den Parallelen steht.

Lösung: Die gesuchte Gerade liegt in einer Ebene, welche zu den gegebenen parallelen Geraden rechtwinklig steht. Konstruire daher eine solche Hilfsebene und bestimme die Durchgänge der beiden parallelen Geraden mit dieser Ebene, es sind dann die Verbindungsgeraden der gleichnamigen

Fig. 90—94.

Durchgänge die Projektionen der gesuchten Geraden. Verfahren hierbei nach Aufg. 24 folgendermassen:

Fig. 90.
Tafel 2.

1. Fig. 90. Bestimme den Durchgang der beiden Geraden mit der Ebene T nach Aufg. 4, resp. nach Aufg. 24 ad 1.

Fig. 91.

2. Fig. 91. Konstruiere die Ebene S , in welcher die beiden parallelen Geraden liegen und ermittle ihre Schnittlinie mit der Ebene T . In dieser Schnittlinie muss die gesuchte Gerade xy sich befinden.

Fig. 92.

3. Bestimme den Durchgang jeder Geraden nach Aufg. 24 ad 3 und verbinde die gleichnamigen Durchgänge miteinander. In der Fig. 92 ist x_1 mit Hülfe einer Geraden ermittelt, welche der VPE parallel ist und in der Ebene T liegt.

Fig. 93.

4. In Figur 93 ist folgendes Verfahren angewandt: Man bestimme nach einer der vorhin angegebenen Methoden zunächst den horizontalen Durchgang x_1 einer der parallelen Geraden mit der Ebene T und konstruiere die horizontale Spur S_1 der Ebene, in welcher die beiden parallelen Geraden liegen. Die horizontalen Spuren S_1 und T_1 schneiden sich in c_1 und verbindet man c_1 mit x_1 , so liegt in der Verlängerung y_1 . Die vertikalen Projektionen der Durchgänge sind in der Figur mittels horizontaler Hülfsgeraden ermittelt, welche in der Ebene T liegen.

Fig. 94.

5. In Figur 94 ist die wahre Länge der Geraden analog nach Figur 67 ermittelt, indem man in r_1 eine Normale zu l_1 von der Länge h errichtet und dann $[r]$ mit c_1 verbindet. Errichte nun in r_1 zur horizontalen Spur der Ebene beider Geraden, also zu $r_1 p_1$ eine Normale, welche in diesem Falle, da $r_1 p_1$ parallel der Axe, zu letzterer rechtwinklig ist, mache $c_1(r) = c_1[r]$, und ziehe zu letzterer durch d_1 eine Parallele. Soll nun z. B. in x_1 die Normale der beiden parallelen Geraden konstruiert werden, so bestimme zunächst den Punkt (x) auf der niedergelegten Geraden $c_1(r)$, konstruiere zu letzterer in (x) eine Normale, welche die $d_1(p)$ in (y) trifft; zieht man durch (y) eine Parallele zu $(x)x_1$ resp. zu $(r)r_1$, so erhält man auf $d_1 p_1$ den Punkt y_1 . Durch $x_1 y_1$ ist die horizontale Projektion der gesuchten Geraden festgelegt,

durch welche auch ihre vertikale Projektion $x_{11} y_{11}$ bestimmt ist.

Aufgabe 27.

Gegeben: Eine Ebene, eine Strecke E und die horizontale Projektion einer Geraden.

Gesucht: Die vertikale Projektion der letzteren, welche mit der gegebenen Ebene parallel ist und von derselben den Abstand E hat.

Lösung: Nehme auf der gegebenen horizontalen Projektion der Geraden einen beliebigen Punkt a_1 Fig. 95 u. 96 an, lege durch denselben diejenige Vertikalebene, deren horizontale Spur zur gleichnamigen Spur der gegebenen Ebene normal steht und schlage erstere nieder. Zu $p_1 (q)$ ziehe in der Entfernung E eine Parallele, welche die in a_1 zu $p_1 q_0$ gezogene Normale in (a) trifft. Hierdurch erhält man nun den Punkt a , welcher von der gegebenen Ebene den Abstand E hat (vergleiche Aufg. 22, Fig. 76). Eine Gerade ist nun einer Ebene parallel, wenn ihre Projektionen einer in der Ebene liegenden Geraden parallel sind. Man bestimmt daher nach Aufg. 14 Fig. 38—43 in der gegebenen Ebene eine Gerade m , deren horizontale Spur zu l_1 parallel ist resp. mit derselben zusammenfällt; zu der vertikalen Projektion der letzteren m_{11} ziehe durch a_{11} eine Parallele, so ist dieselbe die gesuchte vertikale Projektion der Geraden, welche der gegebenen Ebene in der Entfernung E parallel ist.

Lehrsatz.

Sind zwei Ebenen parallel, so sind auch ihre Spuren parallel und umgekehrt, sind die Spuren zweier Ebenen einander parallel, so sind auch die Ebenen parallel. In letzterem Falle kann eine Ausnahme eintreten, wenn die Spuren beider Ebenen rechtwinklig zur QE stehen; es sind diese Ebenen nur dann parallel, wenn ihre Schnittlinien mit der QE einander parallel sind. Fig. 100.

Aufgabe 28.

Gegeben: Zwei parallele Ebenen.

Gesucht: Die kürzeste Entfernung derselben.

Lösung: Verwende eine senkrechte Hilfsebene, deren horizontale Spur rechtwinklig zu den horizontalen Spuren der gege-

Fig. 97.

benen Ebene steht, und lege erstere mit den Schnittlinien der parallelen Ebenen nieder. Der normale Abstand dieser Schnittlinien ist die gesuchte Entfernung. Fig. 97.

Aufgabe 29.

Gegeben: Eine Ebene und ein Punkt ausserhalb derselben.

Gesucht: Eine zweite Ebene, welche den gegebenen Punkt enthält und zur gegebenen Ebene parallel ist.

Fig. 98—100. Lösung: Verwende eine Hilfsgerade, Fig. 98, oder in dem speciellen Falle, Fig. 100, eine Hilfsebene. Ist die gegebene Ebene vertikal, Fig. 99, so gehört die horizontale Projektion des Punktes der horizontalen Spur der gesuchten Ebene an.

Aufgabe 30.

Gegeben: Eine Ebene und in derselben eine Gerade.

Gesucht: Eine zweite Ebene, welche die Gerade enthält und zur gegebenen Ebene rechtwinklig steht.

Fig. 101—103. Lösung: Man nehme in den Fig. 101—103 auf der gegebenen Geraden l einen beliebigen Punkt a an, errichte in demselben zu der gegebenen Ebene S eine Normale (nach Aufgabe 23) und bestimme die Ebene, in welcher die letztere mit der gegebenen Geraden l sich befinden. Beide Ebenen haben die Durchgänge der gegebenen Geraden l gemeinschaftlich. Bei Fig. 103 muss man die QE zu Hilfe nehmen, um die Durchgänge der Normalen zu bestimmen.

Aufgabe 31.

Gegeben: Eine Ebene und eine Gerade ausserhalb derselben.

Gesucht: Eine zweite Ebene, welche die Gerade enthält und zur gegebenen Ebene rechtwinklig steht.

Fig. 105—107. Lösung: Verfahre in den Fig. 105—107 genau so wie in voriger Aufgabe.

Aufgabe 32.

Gegeben: Eine Ebene und in derselben eine Gerade.

Gesucht: Eine zweite Ebene, welche sowohl zur gegebenen Ebene, als zur gegebenen Geraden rechtwinklig steht.

Fig. 104. Lösung: Man nehme auf den gegebenen Geraden l , Fig. 104, einen beliebigen Punkt a an, errichte in demselben eine Normale m zu der gegebenen Ebene S und bestimme nach Aufg. 24 diejenige Ebene, welche zu der Normale m rechtwinklig steht.

II. Abschnitt.

Böschungsflügel.

§ 1.

Allgemeine Anordnung der Böschungsflügel.

Man unterscheidet:

1. Rechtwinklige Flügel,
2. Schräge Flügel,
3. Parallel-Flügel (Widerkehr),
4. Concave Flügel,
5. Convexe Flügel.

Bei den ersteren stehen die horizontalen Projektionen der in der Dammböschung liegenden Flügelkanten normal zur Stirnfläche des Bauwerkes, so dass ihre vertikalen Projektionen senkrecht erscheinen, Fig. 1 u. 2. Die rechtwinkligen Flügel sind die billigsten und werden angewandt, wenn die lichte Weite des Objektes nach aussen nicht erweitert zu werden braucht, z. B. bei Eisenbahn-Unterführungen, bei Tunnels, bei Brücken, wenn die Durchfluss-Oeffnung oder Wegebreite der letzteren so gross genommen ist, dass eine Einschränkung des Wasserlaufes resp. des Weges nicht stattgefunden hat.

Fig. 1 u. 2.
Tafel 3.

Bei den schrägen Flügeln, Fig. 3—5, sind die horizontalen Projektionen der in der Böschung liegenden Flügelkanten gegen die Stirnfläche geneigt. Die Grösse des Neigungswinkels hängt von dem Zwecke des Bauwerkes ab, je mehr die horizontalen Projektionen der Kanten von der normalen Richtung zur Stirnfläche abweichen, d. h. je mehr der schräge Flügel sich von dem rechtwinkligen entfernt, je mehr Erddruck hat derselbe aufzunehmen, je stärker ist er auszuführen, je theurer seine Herstellung. Man lässt daher denselben den Umständen gemäss so wenig wie möglich von dem rechtwinkligen Flügel abweichen.

Fig. 3—5.

Zuweilen unterscheidet man die rechtwinkligen und schrägen Flügel auch derart, dass man zu den ersteren diejenigen rechnet, deren horizontale Spur der vorderen Seitenfläche rechtwinklig zum Bauwerk steht, Fig. 1 u. 5, während zu den schrägen Flügeln diejenigen gezählt werden, von denen die betreffende Spur zum Bauwerk geneigt ist. Fig. 2—4.

Die Parallelfügel laufen der Stirnfläche des Bauwerkes parallel; sie haben dem grössten Erddrucke Widerstand zu leisten, müssen am stärksten ausgeführt werden, sind mithin die theuersten.

Sämmtliche Flügel können mit und ohne Anlauf (Böschung) konstruirt werden und zwar beträgt dieselbe bis $\frac{1}{12}$ der Höhe.

Fig. 6—9.
Tafel 3.

Die concaven und convexen Flügel, welche bei besonderen Zwecken des Bauwerkes angewandt werden, führt man cylindrisch oder kegelförmig aus. In den meisten Fällen wählt man die Leitlinie kreisförmig. Wird die vordere Fläche des Flügels senkrecht, so ist die Erzeugende des Cylinders vertikal, während bei der geböschten Vorderfläche die Böschungsmauer entweder cylindrisch oder kegelförmig hergestellt wird, derart, dass die Erzeugenden der angenommenen Neigung entsprechen. Je nach der Annahme unterscheidet man also:

concavcylindrische Flügel mit vertikaler und geneigter Erzeugenden,

convexcylindrische Flügel mit vertikaler und geneigter Erzeugenden,

concavkegelförmige und convexkegelförmige Flügel;
die beiden letzteren werden auch konische Flügel genannt.

Fig. 10 u. 11.

Was die Länge der Flügel anbelangt, so können dieselben bis zum Terrain (der horizontalen Projektionsebene) hinabgeführt werden, Fig. 10, liegen also ganz in der Erdböschung, oder sie werden durch eine Ebene begrenzt, welche normal zur Querrissebene steht und zur Stirnmauer des Bauwerkes entweder parallel, Fig. 11, oder geneigt ist. Im letzteren Falle beträgt die Neigung dieser Ebene bis $\frac{1}{12}$ der Höhe des Abschnittes.

Fig. 12.

In den nachfolgenden Konstruktionen soll das Terrain horizontal angenommen werden. Ist dasselbe geneigt, so bringt man die Erdböschungsebene mit der Terrainebene zum Schnitt, Fig. 12, und denkt sich durch diesen Schnittpunkt eine zweite Horizontalebene, welche man dann als horizontale Projektionsebene annimmt.

§ 2.

Das Gerippe der Böschungsflügel.

Die Höhe des Flügels, welche von der Höhe des Bauwerkes abhängt und die Neigung der Erdböschung sind stets bekannt, letztere ist in den meisten Fällen $1 : 1\frac{1}{2}$, mithin ist die Projektion des Böschungsflügels in der Querrissebene, also die Seitenansicht, stets gegeben. Ebenfalls wird die Breite der Flügeldeckplatten resp. der Flügeldeckquader angenommen, sie beträgt 40—100 cm. Ist die Richtung und Lage der einen Kante der Flügeldeckquader gegeben, so wird die andere bei der gegebenen Breite nach Aufgabe 20, Abschn. I, ermittelt. Bei den schrägen Flügeln muss stets die Richtung der horizontalen Projektion der Flügeloberkante, oder die Richtung der horizontalen Spur der vorderen Flügelseitenfläche gegeben werden. Der letzte Fall tritt ein, wenn die Böschungsebene eine bestimmte Lage erhalten soll, z. B. die Seitenkante eines Grabens von vorgeschriebener Richtung bilden muss.

I. Der rechtwinklige Flügel, II. der sohräge Flügel.

Beide mögen gleichzeitig besprochen werden.

A. Die Flügeldeckquader reichen bis zur natürlichen Terrainfläche.

Obgleich dieser Fall der Flügelanordnung in der Praxis wenig vorkommt, so sei derselbe hier erwähnt, da er für die übrigen Konstruktionen die Grundlage bildet.

Im Folgenden sei die Höhe des Flügels mit h , die Breite der Flügeldeckplatten, resp. der Flügeldeckquader mit p bezeichnet. Die horizontale Projektion des Anfangspunktes der vorderen Flügeloberkante ist durch a_1 festgelegt. Es werden die Projektionen des Flügels und die wahre Grösse der vorderen Flügelseitenflächen verlangt. (Zu den Fig. 13—18 ist dieselbe Seitenansicht benutzt.)

1. Der rechtwinklige Flügel mit senkrechter Vorderfläche.

Fig. 13. Aus der Seitenansicht lassen sich die Projektionen der vorderen Kante des Flügels direkt ableiten, während durch die Breite p der Flügeldeckplatten die hintere Kante des Flügels festgelegt ist. Die wahre Grösse der vorderen Flügelseitenfläche ist durch die Seitenansicht des Flügels gegeben.

Fig. 13.
Tafel 3.

2. Der rechtwinklige Flügel mit geböschter Vorderfläche.

Fig. 14.
Tafel 3.

Fig. 14. Die Neigung der Böschungsfläche sei $1 : \frac{1}{4}$ angenommen. Nachdem man die Projektionen der Flügeloberkanten ermittelt hat, schlägt man von a_1 als Mittelpunkt mit $\frac{1}{4} h$ als Radius einen Kreis und zieht an denselben von b_1 eine Tangente, welche man bis zur Axe verlängert. Verbindet man e_0 mit a_{11} , so sind $b_1 e_0$ und $e_0 a_{11}$ die Spuren der geböschten Vorderfläche des Flügels. Um die wahre Grösse der vorderen Flügelseitenfläche zu erhalten, legt man dieselbe um ihre horizontale Spur $e_0 b_1$ nieder. In der Fig. 14 ist der Punkt a dadurch niedergeklappt, dass man von a_1 eine Normale auf $e_0 b_1$ zieht, diese verlängert und auf derselben (a) festlegt indem man $e_0 (a) = e_0 a_{11}$ macht. Durch $e_0 b_1 (a)$ ist die gesuchte Fläche bestimmt.

3. Der schräge Flügel mit senkrechter Vorderfläche.

Es ist ausser dem Vorigen die Richtung der vorderen Flügeloberkante unter Winkel v gegeben:

Fig. 15.

Fig. 15. Trage an die Axe in a_1 den Winkel v , auf dessen Schenkel der horizontale Durchgang b_1 der vorderen Flügeloberkante liegen muss. Errichtet man in a_1 zu $a_1 b_1$ eine Normale von der Höhe h und verbindet (a) mit b_1 , so ist $a_1 b_1 (a)$ die wahre Grösse beider Seitenflächen des Flügels.

Zur Festlegung der zweiten Flügeloberkante hat man zu $a b$ in der Entfernung p (nach Aufg. 20, Fig. 65—68, Abschn. I) eine Parallele zu konstruieren. Von den mannigfaltigen Lösungen wählt man im vorliegenden Falle am besten folgende: Errichte in a_1 eine Normale zur Axe, mache $b_1 [a] = b_1 (a)$ und ziehe zu $b_1 (a)$ in der Entfernung p eine Parallele, durch welche man auf der horizontalen Spur der Erdböschungsebene den Punkt c_1 erhält, welcher der zweiten Flügeloberkante angehört.

4. Der schräge Flügel mit geböschter Vorderfläche.

Der Anlauf der Vorderfläche sei zu $\frac{1}{4} h$ angenommen.

a) Es ist die Richtung der vorderen Flügeloberkante unter Winkel v gegeben.

Fig. 16.

Fig. 16. Nachdem man die Projektionen der vorderen Flügeloberkante bestimmt hat, schlägt man von a_1 mit $\frac{1}{4} h$ einen Kreis, zieht an letzteren von b_1 eine Tangente, verlängert dieselbe bis zur Axe und verbindet e_0 mit a_{11} , so sind $e_0 b_1$ und $e_0 a_{11}$ die Spuren der vorderen Flügel-Seitenfläche. Die wahre Grösse der letzteren

erhält man durch Niederlegen, indem man von a_1 eine Normale zu $e_0 b_1$ zieht, zu dieser in a_1 eine Senkrechte von der Höhe h errichtet, auf der verlängerten $a_1 d_1$ von d_1 die Länge $d_1 [a]$ abträgt, so dass $d_1 [a] = d_1 (a)$ und mit b_1 und e_0 verbindet; oder man kann auch analog nach Fig. 14 verfahren. Die Lage der zweiten Flügeloberkante bestimme wie vorhin; man kann jedoch auch eine beliebige Strecke der vorderen Kante benutzen, indem man (m) auf $b_1 (a)$ annimmt, den zugehörigen Punkt m_1 ermittelt, hier eine Normale zur Axe konstruirt und von b_1 aus mit $b_1 (m)$ einen Kreis schlägt, welcher die letztere in $[m]$ trifft, man verbindet dann $[m]$ mit b_1 und zieht zu $b_1 [m]$ in der Entfernung p eine Parallele, welche c_1 festlegt.

- b) Es ist die Richtung der horizontalen Spur der vorderen Flügel-Seitenfläche unter Winkel w gegeben.

Fig. 17. Auf der gegebenen horizontalen Spur der Flügel-Seitenfläche muss der horizontale Durchgang der vorderen Flügeloberkante b_1 sich befinden, dessen Lage durch $b_{1,11}$ ermittelt wird. Konstruirt man darauf zu $b_1 e_0$ in der Entfernung $\frac{1}{4} h$ eine Parallele, so wird durch dieselbe auf der Axe der Punkt a_1 festgelegt, welcher mit b_1 zu verbinden ist. Hierdurch ist die horizontale Projektion der vorderen Flügeloberkante bestimmt; die weitere Konstruktion erfolgt wie vorhin.

Fig. 17.
Tafel 3.

- c) Die horizontale Spur der vorderen Flügel-Seitenfläche steht normal zur Stirnfläche des Bauwerkes.

Fig. 18. Man verfährt genau so wie ad b. In diesem Falle fällt die vertikale Spur der vorderen Flügel-Seitenfläche mit der vertikalen Projektion der vorderen Flügeloberkante zusammen.

Fig. 18.

B. Die Flügeldeckquader reichen nicht bis zum Terrain, sondern werden durch eine Ebene abgeschnitten, welche zur QE normal steht.

Diese Anordnung des Böschungsflügels wird fast ausschliesslich angewandt, da man neben den Flügel eine Futtermauer zu setzen pflegt, an welche sich ein Erdböschungskegel lehnt. Man kann die Gerippe dieser Flügel genau so konstruiren, wie die unter A angegebenen, wenn man dieselben bis zur HPE verlängert denkt und in jeder der beiden Projektions-Ebenen die Grenzen des abgeschnittenen Stückes bestimmt. Des Raumes wegen auf der Zeichenfläche ist es jedoch in den meisten Fällen vortheilhafter

Fig 19.

die Begrenzungslinien des Flügels direkt aus der Seitenansicht abzuleiten. In den Figuren 20—25, Taf. 3, ist die zur QE normal stehende Schnittebene mit der Neigung $1:1/4$ angenommen, während dieselbe in Figur 19 vertikal gestellt wurde. Die Höhe dieser Schnittebene sei mit h_1 bezeichnet. (Zu den Figuren 20 bis 25 ist dieselbe Seitenansicht benutzt.)

1. Der rechtwinklige Flügel mit senkrechter Vorderfläche.

Fig. 20.
Tafel 3.

Fig. 20. Durch Drehen der Seitenansicht um 90° sind die Projektionen der Vorderfläche des Flügels direkt bestimmt. Der normale Abstand der Projektionen der Flügeloberkante ist der gegebenen Breite p der Deckplatten gleich. Die Seitenansicht giebt gleichzeitig die wahre Grösse der Flügelseitenflächen.

2. Der rechtwinklige Flügel mit geböschter Vorderfläche.

Fig. 21.

Fig. 21. Die Neigung des Anlaufes sei $1/4$ der Höhe. Nachdem man zunächst die Projektionen der vorderen Flügeloberkante mit a_1, b_1 und a_{11}, b_{11} bestimmt hat, konstruiert man von a_1 mit $1/4 h$ und von b_1 mit $1/4 h_1$ als Radien Kreise und zieht ihre gemeinschaftliche Tangente, welche man bis zur Axe verlängert und auf welcher $e_0 c_1$ liegen muss. Konstruiert man aus der Seitenansicht die Lage von c_1 und verbindet man e_0 mit a_{11} , so erhält man durch $e_0 c_1$ und $e_0 a_{11}$ die Spuren der vorderen Flügel-Seitenfläche, während durch $b_1 c_1$ und $b_{11} c_{11}$ die Schnittlinie der letzteren mit der zur QE normal stehenden Schnittebene angegeben ist. Legt man die Punkte a und b um die Spur $e_0 c_1$ nieder, so erhält man durch $e_0 (a) (b) c_1$ die wahre Grösse der vorderen Flügel-Seitenfläche, während die hintere Seitenfläche des Flügels durch die Seitenansicht gegeben ist.

3. Der schräge Flügel mit senkrechter Vorderfläche.

Fig. 22.

Fig. 22. Es ist die Richtung der vorderen Flügeloberkante, welche mit der horizontalen Spur der vorderen Flügelseitenfläche zusammenfällt, unter Winkel v bekannt. Nachdem man auf derselben b_1 und c_1 ermittelt hat, legt man b_{11} und c_{11} fest und erhält hierdurch die Projektionen der vorderen Flügelseitenfläche. Errichtet man in a_1 und b_1 zu $a_1 c_1$ Normale von der Höhe h bzw. h_1 und verbindet entsprechend deren Eckpunkte (a) und (b) , so erhält man durch $e_0 (a) (b) c_1$ die wahre Grösse der vorderen Flügelseitenfläche. Zur Festlegung der zweiten Flügeloberkante verfähre wie oben in den Figuren 15 und 16 angege-

ben. Man konstruiert von b_1 mit der wahren Länge der vorderen Flügeloberkante $b a$, also mit $(b) (a)$ als Radius einen Kreis, welcher die in a_1 zur Axe errichtete Normale in $[a]$ schneidet; man verbindet $[a]$ mit b_1 und zieht zu $[a] b_1$ in der Entfernung p eine Parallele mittels welcher man in der Schnittlinie $b_1 k_1$ den Punkt k_1 erhält, welcher die Breite der Flügeldeckplatten in der horizontalen Projektion bestimmt und wodurch die Lage der hinteren Flügelseitenfläche festgelegt ist. Die wahre Grösse der letzteren ist gleich der wahren Grösse der vorderen Fläche des Flügels.

4. Der schräge Flügel mit geböschter Vorderfläche.

Die Neigung der geböschten Vorderfläche betrage $\frac{1}{4}$ der Höhe.

- a) Es ist die Richtung der vorderen Flügeloberkante unter Winkel v gegeben.

Fig. 23. Verfahre genau so wie bei dem rechtwinkligen Flügel ad 2 in Fig. 21 angegeben ist. Zur Bestimmung der hinteren Flügeloberkante braucht man, analog der Fig. 16, nur eine Strecke $b m$ der vorderen Kante zu benutzen.

Fig. 23.
Tafel 3.

- b) Es ist die Richtung der horizontalen Spur der vorderen Flügelseitenfläche unter Winkel w gegeben.

Fig. 19 und 24. Auf der gegebenen Spur $e_0 c_1$ bestimmt man zunächst c_1 und zieht dann zu $e_0 c_1$ zwei Parallele in dem Abstände $\frac{1}{4} h$ und $\frac{1}{4} h_1$, die erstere trifft die Axe in a_1 , während auf der letzteren mit Hilfe von b_{111} der Punkt b_1 festgelegt wird. Durch $a_1 b_1$ ist nun die Lage der vorderen Flügeloberkante festgelegt, während die hintere Flügelseitenfläche wie vorhin bestimmt wird.

Fig. 19 u. 24.

- c) Die horizontale Spur der Flügelseitenfläche steht normal zur Stirnfläche des Bauwerkes.

Fig. 25. Verfahre wie vorhin. Es fallen in der VPE die Spur $e_0 a_{11}$ der vorderen Flügelseitenfläche, die Flügeloberkante $a_{11} b_{11}$ und die Kante $c_{11} b_{11}$ in eine Gerade zusammen.

Fig. 25.

III. Die Parallelfügel.

Die Parallelfügel, welche als einfache Futtermauern auftreten, sind so einfacher Struktur, dass dieselben hier übergangen werden können.

IV. Die concaven Böschungsfügel.

Gewöhnlich wird die Leitlinie der vorderen Seitenfläche des Flügels kreisförmig angenommen. Der Mittelpunkt dieses Kreises liegt entweder auf der horizontalen Spur der Erdböschungsebene oder auf der horizontalen Spur der zur QE normal stehenden Ebene, welche den Flügel abkürzt. Die Grösse des Halbmessers c , m , Fig. 26—28 Taf. 3, richtet sich nach dem Zwecke des Bauwerkes. Die Erzeugende der concaven Fläche ist vertikal oder geneigt.

Die durch die Dammschüttung verdeckte Seitenfläche des Flügels hat zur Leitlinie eine Kurve, welche von der Neigung der vorderen Seitenfläche abhängt, während ihre Erzeugende stets vertikal angenommen wird. Mithin ist dieselbe eine senkrechte Cylinderfläche, so dass die horizontale Projektion der hinteren Flügeloberkante stets mit der Leitlinie der hinteren Seitenfläche zusammenfällt.

Ausser der Seitenansicht des Böschungsfügels und der Breite der Deckplatten muss die Leitlinie und die Richtung der Erzeugenden der vorderen Flügelseitenfläche gegeben sein. Es sind die Projektionen des Flügels, sowie die wahre Grösse der abgewickelten vorderen Flügelseitenfläche zu ermitteln.

1. Der concavcylindrische Flügel mit senkrechter Vorderfläche.

Fig. 26.
Tafel 3.

Fig. 26. Die Erzeugende des concavcylindrischen Flügels ist in diesem Falle eine vertikale Gerade, mithin ist die vordere Seitenfläche eine senkrechte Cylinderfläche. Die Schnittlinie der Erdböschung mit letzterer, also die vordere Flügeloberkante ist daher eine Kurve, welche in ihrer horizontalen Projektion mit der Leitlinie zusammenfällt. Da letztere kreisförmig angenommen ist, so wird die Leitlinie der hinteren Flügelseitenfläche und damit die horizontale Projektion der zweiten Flügeloberkante ebenfalls kreisförmig und zwar fällt ihr Mittelpunkt mit m , zusammen, während der Radius um die Breite der Flügeldeckplatte p grösser ist als der Halbmesser der Leitlinie der vorderen

Flügelseitenfläche. Aus dem Grundriss und der Seitenansicht erhält man nun die vertikale Projektion des Flügels folgendermassen:

Nachdem man die Begrenzungspunkte der vorderen Seitenfläche $a_{11} b_{11} c_{11} e_{11}$ festgelegt hat, nimmt man auf der horizontalen Projektion der vorderen Flügeloberkante mehrere Punkte, z. B. $r_1 q_1 \dots$ an, überträgt dieselben in die Seitenansicht und bestimmt in der senkrechten Cylinderfläche mit Hilfe von $r_{111} q_{111} \dots$ ihre vertikalen Projektionen $r_{11} q_{11} \dots$, welche man durch eine stetig gekrümmte Linie mit den Begrenzungspunkten verbindet und so $b_{11} r_{11} q_{11} a_{11}$ festlegt. Ebenso erhält man die vertikale Projektion der hinteren Flügeloberkante.

Zur Ermittlung der wahren Grösse der vorderen Seitenfläche des Flügels trägt man auf einer Geraden die Länge der Leitlinie $e_1 c_1$ ab; man wählt hierbei die einzelnen Punkte so nahe, dass man ohne merkliche Fehler das Bogenstück des Kreises mit der Sehne vertauschen kann, so dass $(e)(w) = e_1 w_1$, $(w)(v) = w_1 v_1$, $(v)(c) = v_1 c_1$. In den End- und Zwischenpunkten $(e)(w)(v)$ und (c) errichtet man Normale, deren Länge der Ansicht entnommen wird und deren Endpunkte die abgewinkelte vordere Flügeloberkante festlegen, so dass $(e)(a) = e_{111} a_{111}$, $(w)(q) = w_{111} q_{111}$, $(v)(r) = v_{111} r_{111}$ und $(c)(b) = c_{111} b_{111}$. Verbindet man $(a)(q)(r)(b)$ durch eine stetig gekrümmte Kurve, so ist durch $(e)(a)(q)(r)(b)(c)$ die wahre Grösse der vorderen Flügelseitenfläche bestimmt.

2. Der concavcylindrische Flügel mit geneigter Vorderfläche.

Figur 27. Der Flügel stellt eine schiefe Cylinderfläche dar, deren Erzeugende die gegebene Neigung der Böschungsfäche haben. Die Axe dieser Cylinderfläche ist der VPE parallel, mithin sind die horizontalen Projektionen der Erzeugenden dem Bauwerk parallel, während ihre vertikalen Projektionen die Neigung der vorderen Flügelseitenfläche haben und somit die wahren Längen angeben; in der QE erscheinen die Erzeugenden als senkrechte Geraden. Die Neigung der Böschung betrage $\frac{1}{4}$ der Höhe. Nach Festlegung der Leitlinie der Vorderfläche $e_1 w_1 v_1 e_1$, bestimmt man die Lage der durch $e w v \dots c$ gelegten Erzeugenden, indem man dieselben in der QE als senkrechte Gerade verzeichnet, während sie in der VPE zur Axe der Projektionsebenen die Neigung $1 : \frac{1}{4}$ erhalten. Durch die Seitenansicht ist die Höhe jeder Erzeugenden festgelegt und überträgt man diese

Fig. 27.
Tafel 3.

auf die vertikalen Projektionen aller Erzeugenden, so erhält man durch e_{11} a_{11} , w_{11} q_{11} , v_{11} r_{11} c_{11} b_{11} die wahre Länge der letzteren. Man bestimmt die horizontalen Projektionen der Erzeugenden, wenn man durch e_1 w_1 v_1 . . . c_1 Parallele zur Axe zieht und auf diese die Punkte a_1 q_1 r_1 . . . b_1 festlegt. Verbindet man a_{11} q_{11} r_{11} b_{11} und a_1 q_1 r_1 b_1 durch stetig gekrümmte Kurven, so erhält man die Projektionen der vorderen Flügeloberkante. Konstruiert man nun zu a_1 q_1 r_1 b_1 in der Flügelabdeckungsfläche eine Kurve in dem Abstände p , so findet man die horizontale Projektion der zweiten Flügeloberkante, welche auch gleichzeitig die Leitlinie für die verdeckte Flügelseitenfläche angiebt. Die vertikale Projektion der ersteren bestimmt man mit Hilfe der QE.

Die wahre Grösse der vorderen Seitenfläche erhält man durch Abwicklung der Cylinderfläche um die Erzeugende e_{11} a_{11} . Auf letztere zieht man von w_{11} v_{11} c_{11} Normale, deren Fusspunkte 1, 2 und 3. Auf einer Geraden $(a)(e) = a_{11}$ e_{11} trägt man von (e) aus die Fusspunkte 1, 2, 3 auf, und schlägt von (e) mit dem Radius e_1 w_1 einen Bogen, welcher die in 1 zu $(e)(a)$ errichtete Normale in (w) trifft; in (w) konstruiert man mit dem Radius w_1 v_1 einen Kreisbogen, welcher die in 2 konstruirte Normale in (v) schneidet und ebenso legt man (e) auf der durch 3 gezogenen Gerade fest, indem man $(v)(c) = v_1$ c_1 nimmt. Durch die Punkte $(w)(v)$ und (c) zieht man zu $(e)(a)$ Parallele von der Länge w_{11} q_{11} , v_{11} r_{11} und c_{11} b_{11} ; verbindet man nun die Punkte $(a)(q)(r)(b)$ und $(e)(w)(v)(c)$ miteinander, so ist durch $(a)(b)(c)(e)$ die wahre Grösse der vorderen Seitenfläche bestimmt.

3. Der concavkegelförmige Flügel.

Fig. 28.
Tafel 3.

Der Böschungsflügel sei im Punkte c durch eine der VPE parallelen Ebene abgeschnitten. Fig. 28.

Der Mittelpunkt m_1 der kreisförmigen Leitlinie der Kegelfläche fällt mit der horizontalen Projektion s_1 der Kegelspitze zusammen und liegt auf einer Geraden, welche durch c_1 geht und der Stirnfläche des Bauwerkes parallel ist.

Die Spitze der Kegelfläche befindet sich unterhalb der HPE und zwar ist dieselbe um $4 s_1 c_1$ von dieser entfernt, wenn $s_1 c_1$ den Radius der Kreisleitlinie bezeichnet und die Neigung der Vorderfläche des Flügels $1:1/4$ beträgt. Zieht man daher durch s_1 eine Normale zur Axe und macht dieselbe von letzterer aus $s_0 s_{11} = 4 s_1 c_1$, so ist die vertikale Projektion der Spitze s_{11} festgelegt.

Die Spitze der Kegelfläche in der QE liegt senkrecht unter c_{III} , natürlich auch in einem Abstände von $4 s_1 c_1$. In der Fig. 28 fallen s_{II} und s_{III} ausserhalb der Zeichenfläche, so dass nur die Richtungen angegeben sind.

Nachdem man die Projektionen der Kegelspitze festgelegt hat, konstruiert man die Leitlinie $c_1 e_1$, indem man von s_1 mit dem Radius $s_1 c_1$ einen Kreisbogen schlägt. Die Grösse dieses Radius hängt von dem Zwecke des Bauwerkes und den Terrainverhältnissen ab. Hierauf konstruiert man die äusserste Erzeugende der Kegelfläche, welche durch den Punkt c geht. Die Richtung derselben ist durch $c s$ in den 3 Projektionsebenen festgelegt. Verbindet man c_{II} mit s_{II} und verlängert diese Gerade, so erhält man mit Hilfe von b_{III} auf derselben den Punkt b_{II} und durch letzteren auf der der Axe parallelen Geraden $c_1 s_1$ den Punkt b_1 , durch $b_1 b_{II}$ ist nun der niedrigste Punkt der vorderen Flügeloberkante bestimmt. Um die Projektionen des höchsten Punktes der letzteren $a_1 a_{II}$ zu erhalten, bedient man sich der durch den Punkt a gelegten Erzeugenden. Verbindet man a_{III} mit s_{III} , so erhält man auf der Axe den Fusspunkt z_{III} derselben und durch diesen auf der Leitlinie ihre horizontale Projektion z_1 , welche dann wiederum z_{II} festlegt. Denkt man sich s_1 mit z_1 und s_{II} mit z_{II} verbunden und verlängert diese Geraden, so schneidet die erstere die Axe in a_1 und die letztere die durch a_{III} gelegte Horizontale in a_{II} , wodurch die Projektionen des höchsten Punktes der vorderen Flügeloberkante bestimmt sind.

Zur Festlegung mehrerer Punkte der letzteren nimmt man auf der Leitlinie beliebige Punkte, z. B. v und w an und legt durch dieselben die betreffenden Erzeugenden der Kegelfläche. Um die Projektionen dieser Erzeugenden in der Flügelseitenfläche zu erhalten, zieht man z. B. für die durch den Punkt w gelegte Erzeugende $s_{III} w_{III}$ und verlängert diese Gerade bis zum Schnitt mit der Flügeloberkante $a_{III} b_{III}$; durch q_{III} erhält man die Höhe dieser Erzeugenden, welche auf der verlängerten $s_{II} w_{II}$ die vertikale Projektion von q bestimmt; mittelst q_{II} wird nun auf der verlängerten $s_1 w_1$ die horizontale Projektion des Endpunktes der Erzeugenden $w q$ festgelegt, so dass durch $q_1 q_{II} q_{III}$ ein Zwischenpunkt der vorderen Flügeloberkante bestimmt ist. Auf dieselbe Art verfährt man bei der durch v gelegten Erzeugenden, indem man in der betr. Kante den Punkt r festlegt und wendet dasselbe Verfahren noch für mehrere Zwischenpunkte an. Die

Verbindung der gleichnamigen Projektionen dieser Punkte durch eine stetig gekrümmte Linie giebt die Projektionen der vorderen Flügeloberkante. Zur Bestimmung der Schnittlinie der Kegel-
fläche mit der vertikalen Stirnfläche des Bauwerkes verfährt man folgendermassen: Zunächst ist bekannt, dass die horizontale Projektion dieser Schnittlinie durch $e_1 a_1$, ihre Projektion in der Seitenansicht durch $e_{III} a_{III}$ gegeben sind, so dass nur die Ermittlung der vertikalen Projektion übrig bleibt. Man legt die letztere dadurch fest, dass man die Durchgänge mehrerer Erzeugenden, welche zwischen e und w angenommen werden, ermittelt. Wählt man z. B. auf der Leitlinie den Punkt u , so erhält man die horizontale Projektion der durch denselben gelegten Erzeugenden, wenn man s_1 mit u_1 verbindet und die Gerade bis zur Axe verlängert, während die Seitenansicht ermittelt wird, indem man die Verbindungslinie $s_{III} u_{III}$ bis zur Geraden $a_{III} e_{III}$ verlängert. Durch t_{III} und t_1 bzw. der verlängerten $s_{II} u_{II}$ erhält man auf letzterer den Punkt t_{II} , welcher der gesuchten vertikalen Projektion der Schnittlinie $e a$ angehört.

Um die wahre Grösse der vorderen Flügelseitenfläche zu ermitteln, nimmt man zunächst eine Gerade $(b)(c) = b_{II} c_{II}$ an und verlängert dieselbe über (c) hinaus um $4 c_1 s_1$, wodurch man die Spitze des Kegels mit (s) festlegt, es ist also $(c)(s) = 4 c_1 s_1$. Man wickelt nun zunächst die Leitlinie ab, indem man von (s) mit dem Radius $(s)(c)$ einen Kreis schlägt und auf demselben die Punkte $(v)(w)(z)$ und (e) dadurch bestimmt, dass man $(c)(v) = c_1 v_1$, $(v)(w) = v_1 w_1$, $(w)(z) = w_1 z_1$ und $(z)(e) = z_1 e_1$ macht. Verbindet man nun (v) , (w) und (z) mit (s) und trägt auf der Verlängerung dieser Geraden die wahren Längen der Erzeugenden ab, so erhält man die Punkte der vorderen Flügeloberkante $(r)(q)$ und (a) . Die wahren Längen der Erzeugenden ermittle aus den gegebenen Projektionen entweder nach Aufg. 5, Fig. 12—14, Taf. 1, oder drehe die Gerade bis sie der VPE parallel wird wie in Fig. 28 geschehen; es ist dann $(z)(a) = z_{II} [a]$. Auf dieselbe Weise lege den Punkt (t) fest. Verbindet man nun $(a)(q)(r)(b)$ und $(a)(t)(e)$ durch stetig gekrümmte Linien, so ist $(a)(b)(c)(e)$ die wahre Grösse der vorderen Flügelseitenfläche.

V. Die convexen Böschungsflügel.

Die convexen Böschungsflügel sind genau ebenso zu konstruieren, wie die concaven, nur mit dem Unterschiede, dass der Mittelpunkt der kreisförmigen Leitlinie auf der Axe liegt. Es gilt daher hier mit geringen Abweichungen auch alles dasjenige, was bei den concaven Flügeln unter IV gesagt worden ist. Die Figuren 29 bis 31, Taf. 5, sind deshalb mit denselben Bezeichnungen versehen, wie die bezüglichen Figuren 26 bis 28 auf Tafel 3.

1. Der convexcylindrische Flügel mit senkrechter Vorderfläche.

Fig. 29 Taf. 5. Das zu IV ad 1 Gesagte ist auch hier anzuwenden und nur ist der Unterschied zu beachten, dass bei Festlegung der horizontalen Projektion der hintern Flügeloberkante der Radius der letzteren um die Breite p der Flügeldeckplatte kleiner wird, als der Radius der kreisförmigen Leitlinie der vorderen Flügelseitenfläche.

Fig. 29.
Tafel 5.

2. Der convexcylindrische Flügel mit geneigter Vorderfläche.

Fig. 30. Den unter IV ad 2 angeführten Besprechungen ist hinzuzufügen, dass in diesem Falle die Axe der schiefcylindrischen vorderen Flügelseitenfläche in die VPE fällt.

Fig. 30.

3. Der convexkegelförmige Flügel.

Fig. 31. Die Konstruktion dieses Flügels giebt mehrere Abweichungen von derjenigen des concavkegelförmigen, da in diesem Falle die Spitze des Kegels in die VPE und oberhalb der Axe fällt. Es sei daher bezüglich IV ad 3 nur in den allgemeinen Beziehungen dieselbe Anordnung getroffen.

Fig. 31.

Der Mittelpunkt m_1 der kreisförmigen Leitlinie der Kegelfläche, welcher mit der horizontalen Projektion der Kegelspitze s_1 zusammenfällt, liegt in der Axe. Die Spitze der Kegelfläche befindet sich mithin in der VPE und zwar liegt ihre vertikale Projektion bei einer Neigung von $1:1/4$ der Flügelseitenfläche um $4s_1 c_1 = 4s_1 e_1$ über der Axe. In der Seitenansicht befindet sich die Projektion der Kegelspitze in der Axe der QE und selbstredend in derselben Höhe wie s_{11} . In der Figur 31 fallen s_{11} und s_{111} ausserhalb der Zeichenfläche, so dass nur die Richtungen angegeben sind.

Zunächst legt man die Leitlinie der vorderen Flügelseitenfläche fest, indem man von s_1 aus mit dem Halbmesser $s_1 e_1$ einen Bogen schlägt und auf diesen mit Hilfe von c_{111} die horizontale und vertikale Projektionen c_1 und c_{11} dieses Begrenzungs-

punktes festlegt. Nachdem man nun s_{II} und s_{III} verzeichnet hat, konstruiert man die Schnittlinie der Kegelfläche mit der vertikalen Wand des Bauwerkes. Abweichend von dem concavkegelförmigen Flügel schneidet in diesem Falle die VPE die Kegelfläche in einer Erzeugenden; man hat daher nur e_{II} mit s_{II} zu verbinden. Auf dieser Schnittlinie liegt der höchste Punkt der vorderen Flügeloberkante, welcher mit Hilfe von a_{III} zunächst in der vertikalen Projektion durch a_{II} von hier aus in der horizontalen Projektion durch a_I festgelegt wird. Zur Bestimmung des niedrigsten Punktes b der vorderen Flügeloberkante bedient man sich der durch b gelegten Erzeugenden. Verbindet man s_{III} mit b_{III} und verlängert diese Gerade, so trifft dieselbe die Axe in d_{III} und legt man ihren horizontalen Durchgang d_I auf der Leitlinie fest und zieht die horizontale Projektion der Erzeugenden $s_I d_I$, so schneidet dieselbe die durch c_I zur Axe parallel gelegte Gerade in b_I , während die vertikale Projektion b_{II} auf $d_{II} s_{II}$ durch b_{III} festgelegt wird.

Um mehrere Punkte der vorderen Flügeloberkante festzulegen, nimmt man auf der Leitlinie beliebige Punkte, z. B. v und w an, legt durch dieselben die betreffenden Erzeugenden und bestimmt deren Höhe mittels der Seitenansicht der Flügeloberkante. Man zieht z. B. $w_{III} s_{III}$ und legt mit Hilfe des Schnittpunktes q_{III} auf $w_{II} s_{II}$ die vertikale Projektion q_{II} fest und durch diese konstruiert man dann wiederum auf $w_I s_I$ die horizontale Projektion q_I . Durch $q_I q_{II} q_{III}$ sind die Projektionen eines Punktes der vorderen Flügeloberkante bestimmt. Ebenso lege $r_I r_{II}$ fest.

Die Schnittlinie bc ist in dem vorliegenden Falle eine Kurve, welche in der Seitenansicht und in ihrer horizontalen Projektion als Gerade erscheint. Man ermittle ihre vertikale Projektion analog der Schnittlinie $a te$ nach IV ad 3 Fig. 28.

Zur Ermittlung der wahren Grösse der vorderen Flügelseitenfläche nehme man auf einer Geraden einen Punkt (s) an, konstruiere mit dem Radius $(s)(e) = 4 s_I e_I$ eine Kreislinie, mache auf derselben $(e)(w) = e_I w_I$, $(w)(v) = w_I v_I$, $(v)(c) = v_I c_I$ und $(c)(d) = c_I d_I$ und verbinde (w) , (v) und (d) mit (s) . Aus den Projektionen der in der Flügelseitenfläche liegenden Erzeugenden ermittelt man die wahre Länge der letztern, durch welche die Punkte (q) , (r) und (b) auf $(w)(s)$, $(v)(s)$ bzw. $(d)(s)$ festgelegt werden. $(e)(a)$ ist $= e_{II} a_{II}$. Verbindet man $(a)(q)(r)$ und (b) durch eine Kurve u. desgl. (b) mit (c) , so ist durch $(a)(b)(c)(e)$ die wahre Grösse der betreffenden Fläche bestimmt.

§ 3.

Die am Böschungsflügel vorkommenden Schnittebenen.

Das Gerippe eines Böschungsflügels wird als gegeben betrachtet und es sollen die Schnittlinien einer näher angegebenen Ebene mit dem Böschungsflügel in den drei Projektionsebenen verzeichnet werden. Die Projektionen dieser Schnittlinien bilden dann für die Parallelebenen der Abdeckungssteine die Richtungslinien der einzelnen Fugen in den gleichnamigen Projektionen. Es wird angenommen, dass die Flügel-Abdeckungsfläche in die Ebene der Erdböschung fällt.

Im Folgenden sollen diejenigen Schnittebenen besprochen werden, welche bei den Böschungsflügeln am häufigsten vorkommen. Einige weitere Annahmen kommen später bei der speciellen Anordnung der Decksteine zur Sprache.

1. Die Schnittebene S soll zu der Flügel-Abdeckungsfläche und zu den Flügeloberkanten rechtwinklig stehen.

Zu dieser Ebene legt man diejenigen Stossflächen parallel, in welchen die Flügeldecksteine aneinander stossen; es mögen daher die Schnittlinien der gegebenen Ebenen S mit den Seitenflächen des Flügels „die Richtungslinien der normalen Stossfuge“ genannt werden.

1. Lösung. In den meisten Fällen ist behufs Eintheilung der Steine die wahre Grösse der beiden Seitenflächen des Flügels durch Niederlegen bestimmt. Fig. 32. Man legt die anzuordnende Schnittebene S vorthellhaft durch den äussersten Punkt i der hinteren Flügelseitenfläche, damit die gesuchten Schnittlinien als Richtungslinien so lang wie möglich werden. Die Ebene S soll rechtwinklig zu den Flügeloberkanten stehen, mithin müssen ihre Spuren zu den Projektionen der letzteren rechtwinklig sein. Man hat daher durch i_1 die Spur zu verzeichnen, so dass $S_0 S_1$ normal zu $a_1 b_1$ resp. $f_1 g_1$ sein muss. Diese Spur schneidet die horizontale Spur der vorderen Flügelseitenfläche in k_1 und von hier aus ist eine Normale zu der vorderen Flügeloberkante zu verzeichnen. In der niedergelegten vorderen Seitenfläche ist also $k_1 (x)$ rechtwinklig zu (a) (b) und giebt die Richtung der normalen Stossfuge an. Denkt man die niederglegte Fläche um $e_0 c_1$ wiederum zurückgeklappt, so erhält man durch x_1 die horizontale Projektion von x, und $x_1 k_1$ zeigt die horizontale Projektion der Richtung der vorderen normalen Stossfuge.

Fig. 32.
Tafel 4.

Ebenso verfährt man an der hinteren Seitenfläche des Flügels. Von S_0 resp. i_1 konstruiert man auf $(f)(g)$ die Normale $i_1(y)$ und von (y) auf $f_1 g_1$ wiederum die Normale $(y)y_1$. Es ist $(y)i_1$ die Richtung der normalen Stossfuge in der niedergelegten hinteren Seitenfläche des Flügels und $y_1 i_1$ ihre horizontale Projektion, welche mit $f_1 g_1$ zusammenfällt. Verbindet man nun y_1 mit x_1 , so ist $x_1 y_1$ die horizontale Projektion der Böschungsfuge. Bestimme darauf die Projektionen von $x y i$ und k in der VPE und QE, so sind durch $k_{11} x_{11}$ und $i_{11} y_{11}$ bzw. durch $k_{111} x_{111}$ und $i_{111} y_{111}$ die Richtungen der normalen Stossfuge in der VPE, resp. in der Seitenansicht festgelegt. Durch $x_{11} y_{11}$ ist die vertikale Projektion der Böschungsfuge bestimmt.

Fig. 33.
Tafel 4.

2. Lösung. Wenn die wahre Grösse der hintern Seitenfläche des Flügels nicht ermittelt ist, so kann man auch folgendermassen verfahren. Man lege die Schnittebene S durch den Punkt i , Fig. 33, so schneidet ihre horizontale Spur die Spur der vorderen Seitenfläche des Flügels im Punkte k_1 . Von k_1 konstruiere eine Normale auf $(a)(b)$, so ist $k(x)$ die Richtung der niedergelegten normalen Stossfuge an der vorderen Fläche, von (x) ziehe eine Normale zu $e_0 c_1$ und verlängere dieselbe, wodurch man auf $a_1 b_1$ den Punkt x_1 bestimmt und $x_1 k_1$ giebt dann die horizontale Projektion der vorderen normalen Stossfuge. Lege hierauf nach Aufg. 26 ad 5 Abschn. 1, Fig. 94, die beiden Flügeloberkanten nieder, bestimme durch x_1 auf $a_1 [b]$ den Punkt $[x]$ und errichte hier zu den beiden Parallelen $a_1 [b]$ u. $f_1 [g]$ die Normale $[x][y]$; durch $[y]$ erhält man dann auf $f_1 g_1$ den Punkt y_1 . Verbindet man y_1 mit x_1 , so ist $x_1 y_1$ die horizontale Projektion der Böschungsfuge, während $i_1 y_1$ die horizontale Projektion der normalen Stossfuge an der hintern Flügelseitenfläche darstellt. Uebertrage jetzt die Punkte x und y in die QE und VPE, verbinde x_{111} mit e_{111} und y_{111} mit i_{111} bzw. x_{11} mit e_{11} und y_{11} mit i_{11} , so erhält man die entsprechenden Projektionen der normalen Stossfuge, während $x_{11} y_{11}$ die vertikale Projektion der Böschungsfuge zeigt.

Fig. 34.

Man vermag die Projektionen der Böschungsfuge auch folgendermassen zu bestimmen. Nach Festlegung des Punktes x_1 , Fig. 34, ermittelt man zunächst x_{11} und konstruiert nach Aufgabe 26, Fig. 91, die Schnittlinie der Ebene S mit der Erdböschungsfäche, auf dieser Schnittlinie findet man dann durch die Strecke $x_1 y_1$ und $x_{11} y_{11}$ die Richtung der Böschungsfuge.

2. Die Schnittebene S soll zur Flügel-Abdeckungsfläche und zur QE rechtwinklig gestellt werden.

Man pflegt die Stossflächen, in welchen die Decksteine aneinanderstossen auch zu dieser Ebene S parallel anzuordnen, es mögen daher die Schnittlinien der letzteren mit den Seitenflächen des Flügels wiederum die „normalen Stossfugen“ genannt werden, während die Ebene selbst als „normale Stossfläche“ bezeichnet wird.

Nach der Annahme soll die Schnittebene rechtwinklig zur QE stehen, mithin muss ihre horizontale Spur dem Bauwerke, also der Axe parallel sein und daher wird auch die Böschungsfuge $x y$ der letzteren parallel sein. Lässt man in Fig. 35 die Schnittebene S durch die Axe gehen, so schneidet dieselbe die horizontale Spur der vorderen Seitenfläche des Flügels in e_0 und diejenige der hinteren Seitenfläche in i_1 . Zieht man von e_{III} auf $a_{III} b_{III}$ die Normale $e_{III} x_{III}$, so giebt letztere die Richtung der normalen Stossfuge in der Seitenansicht. Legt man durch x_{III} nunmehr x_1 und x_{11} fest und verbindet diese Punkte mit e_1 bzw. e_{11} , so erhält man die horizontale und vertikale Projektion der normalen Stossfuge an der Vorderfläche des Flügels x . Die Projektionen der Böschungsfuge $x_1 y_1$ u. $x_{11} y_{11}$ müssen der Axe parallel sein. Legt man x_1 um $e_0 c_1$ nieder und verbindet (x) mit e_0 , so erhält man durch $e_0 (x)$ die niedergelegte normale Stossfuge; die Richtung der letzteren ist nur dann normal zu (a) (b), wenn die Flügelkante $a b$ rechtwinklig zur Stirnfläche steht. Durch $y_1 i_1$ und $y_{11} i_{11}$ sind die Projektionen der normalen Stossfugenrichtung an der hinteren Flügelseitenfläche bestimmt.

Fig. 35.
Tafel 4.

3. Die Schnittebene T sei vertikal und rechtwinklig zur horizontalen Spur der vorderen Seitenfläche des Flügels angeordnet.

Zu dieser Ebene legt man die Stossflächen der Decksteine, welche mit den gewöhnlichen Steinen des Flügels zusammenstossen, parallel, es seien daher die Schnittlinien der Ebene T mit den Flügelseitenflächen der Richtungen die „vertikalen Stossfugen“ genannt, während die Ebene T selbst „die vertikale Stossfläche“ heissen mag. Die hintere Seitenfläche des Flügels ist in den meisten Fällen vertikal und daher ist auch ihre Schnittlinie mit der gegebenen Vertikal-Ebene T in allen Projektionen senkrecht. Für die vordere Seitenfläche des Flügels legt man die Schnittebene T durch den Punkt a_1 , Fig. 36, und da dieselbe rechtwinklig zur horizontalen Spur der ersteren sein soll, so muss $T_0 T_1$ normal zu $e_0 c_1$ stehen. Die beiden horizontalen Spuren schneiden

Fig. 36.

sich in d_1 und es ist daher $a_1 d_1$ die horizontale Projektion der vertikalen Stossfuge und $d_1 (a)$ die niedergelegte Richtung derselben. $a_1 d_1$ und $d_1 (a)$ müssen selbstredend mit $T_0 T_1$ zusammenfallen. Ueberträgt man jetzt d in die Seitenansicht und in die vertikale Projektion, so erhält man in der vorderen Seitenfläche des Flügels durch $a_{111} d_{111}$ und $a_{11} d_{11}$ die entsprechenden Projektionen der vertikalen Stossfuge.

Legt man die vertikale Schnittebene T beliebig, z. B. durch den Punkt k , so sind die vertikalen Stossfugen durch $x_1 k_1$ und $y_1 o_1$ gegeben, während die Projektionen der Böschungsfuge durch $x_1 y_1$ und $x_{11} y_{11}$ bestimmt sind.

4. Eine Schnittebene S soll in der Entfernung d der Flügel-Abdeckungsfläche parallel angeordnet werden.

Fig. 37.
Tafel 4.

Zu dieser Ebene S wird bei der Verwendung der Flügeldeckplatten die Lagerfläche parallel angeordnet. Es seien daher die Schnittlinien der Ebene S mit den Flügelseitenflächen die „Richtungen der Lagerfugen“ genannt.

Ziehe zu $a_{111} b_{111}$ in Fig. 37 in der Entfernung d eine Parallele $o_{111} p_{111}$ resp. $q_{111} r_{111}$ und bestimme in den Seitenflächen des Flügels ihre Lagen in horizontaler und vertikaler Projektion, sowie in den niedergelegten Flächen. In allen Projektionen müssen die gesuchten Schnittlinien der entsprechenden Flügeloberkante parallel sein.

5. Ein Böschungsflügel soll von einer vertikalen Ebene T geschnitten werden, welche rechtwinklig zur horizontalen Spur der vorderen Seitenfläche des Flügels steht (wie in 3., Fig. 36, angegeben). In dieser Ebene T sei eine horizontale Gerade $m n$ angenommen und durch dieselbe soll eine zweite Ebene S gelegt werden, welche die Abdeckungsfläche des Flügels, also die Erdböschung, rechtwinklig schneidet. Es sollen die Schnittlinien beider Ebenen mit dem Böschungsflügel verzeichnet werden.

Die Ebene T giebt die Richtung der vertikalen Stossfugen, die Ebene S diejenige der normalen Stossfugen an.

Fig. 38.

1. Lösung. Man nimmt zunächst an einer beliebigen Stelle, z. B. k , Fig. 38, eine vertikale Ebene T an, deren horizontale Spur $T_0 T_1$ zu $e_0 c_1$ normal stehen muss und konstruiert darauf nach 3, Fig. 36, ihre Schnittlinien mit den Seitenflächen des Flügels. Durch diese Schnittlinien sind die Richtungen der vertikalen Stossfugen mit $w_1 k_1$ $w_{11} k_{11}$ und $v_1 o_1$ $v_{11} o_{11}$ bestimmt. In der Vertikalebene T nimmt man nun eine beliebige horizon-

tale Gerade $m n$ an (welche später die horizontale Lagerfuge repräsentirt), deren horizontale Projektion mit $T_0 T_1$ zusammenfällt. Durch diese Gerade hat man jetzt eine zweite Ebene S zu legen, welche normal zur Erdböschung steht. Verfahre hierbei (nach Aufg. 30, Abschn. I, Fig. 103, Taf. 2) folgendermassen: Auf der Geraden $m n$, resp. in ihrer Verlängerung nehme man einen beliebigen Punkt p an und lege durch denselben eine Hilfsgerade $p s$ rechtwinklig zur Böschungsebene. Die Spuren der letzteren sind dem Bauwerk, also der Axe parallel, mithin müssen die horizontalen und vertikalen Projektionen der Hilfsgeraden $p s$ normal zur Axe sein, während in der Seitenansicht $p_{III} s_{III}$ zu $a_{III} b_{III}$ normal stehen muss. Bestimme hierauf mit Hilfe der QE den horizontalen Durchgang r_1 der Hilfsgeraden $p s$. Dieser Punkt gehört auch der horizontalen Spur der Ebene S an und da letztere die horizontale Gerade $m n$ enthalten soll, so wird $S_0 S_1$ parallel der horizontalen Projektion der Geraden, also auch parallel der horizontalen Spur der Ebene T sein müssen. Ziehe daher durch r_1 eine Parallele zu $T_0 T_1$, resp. eine Normale zu $e_0 c_1$, so ist $S_0 S_1$ festgelegt. Hierauf konstruiere den vertikalen Durchgang z_{II} der Geraden $m n$ und verbinde z_{II} mit S_0 , so ist durch $z_{II} S_0$ die vertikale Spur $S_0 S_{II}$ bestimmt. Jetzt ermittle die Schnittlinie der Ebene S mit der Erdböschungsebene nach einer der früher angegebenen Methoden. In der Fig. 38 ist ausser dem Schnittpunkte t_{II} der vertikalen Spuren der Durchgangspunkt der zur Böschungsebene normalen Geraden $p s$ benutzt. Mit Hilfe von q_{III} sind auf $p_1 s_1$ bzw. $p_{II} s_{II}$ die Projektionen q_1 und q_{II} festgelegt; verbindet man q_1 mit t_0 und q_{II} mit t_{II} so sind hierdurch die Projektionen der gesuchten Schnittlinie bestimmt. Die Strecke $x y$ der letzteren fällt in die Flügelabdeckungsfläche und giebt die Richtung der gesuchten Böschungsfuge durch $x_1 y_1$ und $x_{II} y_{II}$ an. Durch $x_1 d_1$, $x_{II} d_{II}$ u. $y_1 i_1$, $y_{II} i_{II}$ erhält man die Projektionen der gesuchten normalen Stossfuge. Zur Kontrolle der Zeichnung ist zu beobachten, dass die Geraden $y i$ und $v o$ sich in dem Punkte m und die Geraden $x d$ und $w k$ sich im Punkte n schneiden müssen. Legt man den Punkt x um $e_0 c_1$ nieder, so giebt $(x) d_1$ die Richtung der niedergelegten normalen Stossfuge.

Es ist hierbei zu erwähnen, dass die Ebene S , welche normal zur Erdböschung und die Gerade $m n$ enthält, nicht auch rechtwinklig zu den Flügeloberkanten $a b$ u. $f g$ steht, also nicht der unter 1. angegebenen Ebene für die normale Stossfuge ent-

spricht, es ist daher $d_1(x)$ auch keineswegs normal zu (b)(a). Es würde dieser Fall nur eintreten, wenn $S_0 S_1$ rechtwinklig zu $a_1 b_1$ und $S_0 S_{11}$ rechtwinklig zu $a_{11} b_{11}$ wäre, dieses ist aber nur möglich, wenn $a_1 b_1$ mit $e_0 c_1$ zusammenfällt, d. h. wenn die vordere Seitenfläche des Flügels ohne Anlauf, also senkrecht wäre.

Fig. 39.
Tafel 4.

2. vereinfachte Lösung. Legt man die vertikale Ebene T durch den Punkt i , Fig. 39, so ist $T_0 T_1$ rechtwinklig zu $e_0 c_1$ und ihre Schnittlinien mit den Flügelseitenflächen sind durch $w k$ und $v i$ bestimmt. Statt $m n$ nimmt man nun in der Ebene T die in der HPE liegende Gerade $i k$ an, welche die zur Böschungsfläche normal gelegte Ebene S enthalten soll. Nimmt man auf der verlängerten $i k$ den Punkt p an und legt durch denselben wie vorhin die zur Böschungsfläche normal stehende Gerade $p s$, so ist der horizontale Durchgang dieser Geraden der Punkt p_1 , während der vertikale Durchgang mit Hilfe der QE durch r_{11} bestimmt wird. Der vertikale Durchgang der Geraden $i k$ liegt nun in der Axe und fällt mit i_1 zusammen. Verbindet man nun i_{11} mit r_{11} , so ist deren Verlängerung $S_1 S_{11}$ die vertikale Spur der Ebene, welche die Geraden $p s$ und $i k$ enthält, während ihre horizontale Spur $S_0 S_1$ mit $T_0 T_1$ zusammenfällt, da p_1 ebenfalls in $T_0 T_1$ liegt. Man bestimme nun die Schnittlinie der Ebene S mit der Flügel-Abdeckungsfläche nach einer der früher angegebenen Methoden. In Fig. 39 hat man zunächst den Durchgangspunkt q der zur Erdböschung normalen Geraden $p s$ benutzt, indem man die horizontale und vertikale Projektion dieses Punktes durch q_1 und q_{11} festlegte und hat dann eine zweite beliebige Gerade $i z$ angenommen, welche $p s$ parallel ist und ebenfalls in der Ebene S liegt; mit Hilfe von z_{11} ist dann z_1 und z_{11} ermittelt. Die beiden Punkte z und q gehören der gesuchten Schnittlinie an; verbindet man daher ihre Projektionen, so hat man durch $z_1 q_1$ und $z_{11} q_{11}$ die Projektion von einem Theile der gesuchten Schnittlinie. Die Schnittpunkte der letzteren mit den Flügeloberkanten legen die Böschungsfuge $x y$ durch $x_1 y_1$ und $x_{11} y_{11}$ fest. Durch $x_1 k_1$, $x_{11} k_{11}$ und $y_1 i$, $y_{11} i_{11}$ sind die horizontalen und vertikalen Projektionen der Richtungslinien der normalen Stossfuge bestimmt.

§ 4.

Die Abdeckung des Böschungsflügels und die Benennungen der einzelnen Flächen der Decksteine.

Die Abdeckungsfläche des Flügels fällt stets in die Ebene der Erdböschung.

Man pflegt den Böschungsflügel abzudecken durch Deckquader, Figur 40, bei denen die horizontalen Lagerflächen zur Vermeidung scharfer Kanten durch kleine zur Böschung senkrecht stehende Ebenen von 10 bis 30 cm Breite abgestumpft werden, Decksteine, welche man Hakensteine nennt. Zur Vermeidung der Abkröpfungen verwendet man vortheilhafter Decksteine mit Abtreppungen, Fig. 41, welche den vorigen gegenüber den Vorzug haben, dass sie beim Versetzen nicht so leicht beschädigt werden. Zur Arbeit-Ersparniss und um dem Eindringen des Wassers besser vorzubeugen, werden sehr oft auch Platten verwandt, Fig. 42, welche zur Vermeidung des Schubes durch Deckquader unterbrochen werden. Die Abdeckung des Flügels durch Ziegel- und Bruchsteine möge hier übergangen werden.

Fig. 40.
Tafel 5.

Fig. 41.

Fig. 42.

Der unterste Deckstein oder Fussstein oder Abschlussquader, welcher auch der „Anfänger“ oder „Anlaufstein“ genannt wird, erhält mehrfache Anordnungen, je nachdem sich demselben eine kleine Futtermauer anschliesst oder nicht, und je nach der Wahl der Flügelabdeckungen. Zur Vermeidung scharfer Kanten wird die Oberfläche desselben meistens nur soweit abgeschrägt, als dieses zur raschen Ableitung des Wassers nothwendig ist. Auch der obere Deckstein des Flügels, der „Stirndeckquader“, erhält die mannigfaltigsten Anordnungen, je nach seiner Verbindung mit dem eigentlichen Bauwerk und der Annahme der Flügeldeckquader. Bei der Austragung der Steine sind auf Tafel 5 und den folgenden sowohl für den Fuss- als auch für den Stirndeckquader die verschiedensten Anordnungen angenommen.

Bei den Flügeldeckquadern mögen folgende Benennungen eingeführt sein: Diejenigen Flächen des Decksteines, welche den Seitenflächen des Flügels angehören, mögen die „Vorder-“ bzw. „Hinterfläche“ oder die „Seitenflächen“ des Steines heissen. Die erstere ist in den Figuren der Flügeldeckquader, Taf. 5 und folgende, in der Vorderfläche mit 1. 3. 5. 7. 9., in der Hinterfläche mit 2. 4. 6. 8. 10. bezeichnet. Die letztere, durch die Erdschüttung verdeckt, wird nicht genau bearbeitet, man kann daher auf dieselbe keine Punkte beziehen und bei der

Flügel-
deckquader
Tafel 5.

Bearbeitung des Steines weder Winkel noch Richtsheit an dieselbe anlegen. Diejenigen Stossflächen, in welchen die einzelnen Decksteine unter sich an einander stossen, und welche mit geringen Ausnahmen rechtwinklig zur Flügelabdeckungsfläche angeordnet werden, heissen die „normalen Stossflächen“, welche beim Flügeldeckquader Taf. 5 mit 1. 2. 10. 9. und 3. 4. 6. 5. bezeichnet sind. Die Fläche, mit welcher der Deckquader gegen die gewöhnlichen Steine des Flügels tritt, wird die „vertikale Stossfläche“ genannt, 5. 6. 8. 7., auch wenn dieselbe derart angeordnet sein sollte, dass ihre Richtung von der Vertikalebene um ein Geringes abweicht wie auf Taf. 6. Die Fläche, auf welcher der Stein ruht, heisst die „Lagerfläche“, 9. 10. 8. 7., während die Ebene, welche in die Erdböschung fällt, die „Abdeckungsfläche“ oder einfach die „Böschungsfläche“ genannt sein möge, 1. 2. 4. 3.

Die Schnittlinien der Vorder- bzw. Hinterfläche des Deckquaders mit den normalen Stossflächen heissen die „normalen Stossfugen“, 1. 9., 3. 5., 2. 10. und 4. 6., mit der vertikalen Stossfläche die „vertikalen Stossfugen“, 5. 7. und 6. 8. Die Schnittlinien der Lagerfläche mit den Seitenflächen werden die „Lagerfugen“ genannt, 9. 7. und 10. 8., während die Schnittlinien der Böschungsfläche mit den normalen Stossflächen die „Böschungsfugen“ heissen mögen, 1. 2. und 3. 4.

Bei den Flügelabdeckungsplatten gelten dieselben Benennungen; selbstredend fallen bei diesen die vertikalen Stossflächen und die entsprechenden Stossfugen fort.

§ 5.

Die Konstruktion der Böschungsflügel mit Anwendung der Decksteine, sowie die Austragung und Bearbeitung der letzteren.

Es ist die Höhe des Flügels, die Neigung der Erdböschung, also die Seitenansicht des Flügelgerippes stets bekannt; ferner ist die Richtung der horizontalen Spur der vorderen Flügelseitenfläche, oder die Richtung der Flügeloberkante vorgeschrieben, während die Stärke des Flügels, welche von der Grösse des Erd-drucks, den der Flügel aufzunehmen hat, abhängt, für unsere Konstruktion vorliegt, und damit die Breite der Flügelabdeckungsfläche gegeben ist. Auch sei die Dimensionirung der einzelnen Steine, da sie von Oertlichkeiten abhängt, jedem einzelnen Inge-

nieur überlassen. In den beigegeführten Tafeln 5. 6 u. s. w., ist für die einzelnen Decksteine ein Maassstab von annähernd 15facher Verjüngung angenommen.

Nach dem Gegebenen hat man nun zunächst nach § 2 das Gerippe des Flügels zu konstruiren und hierbei ist es wünschenswerth die wahre Grösse der vorderen Flügelseitenfläche zu ermitteln, da diese bei der weiteren Konstruktion des Bauwerkes in den meisten Fällen eine grosse Erleichterung bietet.

Zur Festlegung der Projektionen der Begrenzungslinien der einzelnen Decksteine ist es vortheilhaft, an beliebigen Stellen des Flügels Hilfsebenen anzuordnen, welche den angenommenen Flächen der Decksteine parallel sind. Man hat dann nur die Schnittlinien zu konstruiren, die diese Ebenen mit dem Flügel bilden und zu diesen die Projektionen der gleichnamigen Fugen parallel zu verzeichnen, ein Verfahren, welches eben so rasch wie genau zum Ziele führt. Unter Bezugnahme der in § 4 angegebenen Benennungen der Begrenzungsflächen der Decksteine sind dann diejenigen Hilfsebenen einzuführen, welche den Lagerflächen, den normalen und vertikalen Stossflächen des Steines parallel sind, so dass ihre Schnittlinien mit dem Flügel die Richtungen der Lagerfugen, der normalen und der vertikalen Stossfugen, sowie der Böschungsfugen angeben. Hierbei möge erwähnt werden, dass bei der Abdeckung des Flügels durch Quader die Lagerfläche stets horizontal angeordnet wird.

Die Annahme des Stirndeckquaders und des Fussquaders ist in den beigegeführten Tafeln 5, 6 u. s. w. nach den gebräuchlichsten Anordnungen der Praxis gewählt worden; es versteht sich von selbst, dass man für jeden Flügel bald die eine, bald die andere Form des Decksteines annehmen kann.

Im Allgemeinen wird der Deckstein aus dem kleinsten parallelopipedischen Steinkörper hergestellt, von welchem ersterer begrenzt wird, und nur wenn letzterer im Verhältniss seiner Seiten so ungünstig wird, dass diese Steinmasse schwer zu erhalten oder wenn der Deckstein eine solche Gestalt bekommt, dass bei seiner Bearbeitung der parallelopipedische Körper eine verhältnissmässig grosse Abfallmasse liefern würde, wird hiervon eine Ausnahme gemacht und der Deckstein wird dann von einer Ebene ausgehend nur mittels Schablonen bearbeitet.

Der kleinste parallelopipedische Körper, aus welchem der Deckstein gearbeitet werden kann, wird folgendermassen konstruirt: Man erhält den Grundriss desselben, wenn man um die horizon-

tale Projektion des Flügeldeckquaders das kleinste Rechteck legt, während seine Höhe durch den senkrechten Abstand der beiden äussersten Punkte des Deckquaders in der VPE und in der QE bestimmt ist. Wird der Flügel mit Platten abgedeckt, so ist die Lagerfläche der letzteren geneigt und man hat dann durch Drehung zunächst die wahre Grösse derselben zu ermitteln und um letztere das kleinste Rechteck zu konstruiren. Durch den senkrechten Abstand der Lagerfläche von der ihr parallelen Abdeckungsfläche des Flügels erhält man die Höhe des parallelipedischen Steinkörpers, welche man der QE entnimmt.

Fig. 43.
Tafel 5.

Die Darstellung des Steines geschieht nun entweder nach der einfachen schiefen Projektion, oder isometrisch, axonometrisch, perspektivisch u. s. w. Die erste Methode ist die gebräuchlichste, bei ihr geben $a b$, $b c$ und $b g$, Fig. 43, die wahren Längen an und sämtliche entsprechende Geraden des Parallelopiped sind einander parallel.

Fig. 44.

Zur Austragung des Steines bedarf man nur zwei Projektionen und zwar wählt man meistens den Grundriss und die Ansicht. Es ist vortheilhaft, wenn man bei der Uebertragung der einzelnen Eckpunkte des Decksteines nur mit drei Ebenen des Parallelopiped operirt, z. B. mit der Stirnfläche $a b c d$, Fig. 43, der Seitenfläche $b c f g$ und der Grundfläche $a b g h$. Die Lage eines Punktes von der Stirnfläche erhält man aus dem Grundriss und der Seitenansicht, seine Entfernung von der Seitenfläche aus dem Grundriss und der Ansicht und seinen Abstand von der Grundfläche aus der Ansicht und dem Querriss. So liegt z. B. der Punkt 1., Fig. 44, Taf. 5, um x von der Stirnfläche, um y von der Seitenfläche und um z von der Grundfläche entfernt.

Es ist vortheilhaft, beim Austragen der Steine die einzelnen Eckpunkte zu nummeriren und zwar soll im Folgenden das Princip innegehalten werden, dass bei zwei in der Zeichnung zusammenfallenden Punkten der entferntere als Index des näher gelegenen bezeichnet werden soll. Dasselbe Princip sei bei der Bezeichnung des Parallelopiped verfolgt, wie aus Fig. 43 u. 44 ersichtlich.

Die Bearbeitung des Deckquaders geschieht mit Hilfe von Schablonen, welche Fugenbretter genannt werden und welche die wahre Grösse der betreffenden Quaderfläche angeben. Je nach der letzteren unterscheidet man nun die Fugenbretter für die Lagerflächen, für die normalen und vertikalen Stossflächen, wie für die Seitenflächen des Deckquaders. Man hat jedoch für die Bearbeitung eines Steines in den meisten Fällen nur einige

der oben angegebenen Schablonen nothwendig. Mittels dieser Fugenbretter, welche man aus Holz, Blech oder Pappe herstellt, werden auf der betreffenden Fläche des parallelipedischen Steinkörpers die Grenzen des Deckquaders angegeben, die Kanten angeschlagen und hiernach die betreffenden Flächen bearbeitet. Es seien im Folgenden die wichtigsten Fugenbretter der Flügeldecksteine ausgetragen; analog verfährt man bei dem Stirndeck- und dem Fussquader.

§ 6.

Die Anordnung der Flügeldeckquader beim rechtwinkligen und schrägen Böschungsflügel.

Die Lagerflächen der Deckquader sind stets horizontal anzuordnen, mithin sind auch ihre Lagerfugen horizontal. Die Projektionen der letzteren in der VPE und der QE sind also stets der Axe parallel, während ihre horizontalen Projektionen den horizontalen Spuren der Flügelseitenflächen parallel anzuordnen sind. Die Annahme der normalen und vertikalen Stossflächen ist sehr mannigfaltig, sie richtet sich je nach der Lage und der Konstruktion des Böschungsflügels, und besonders darnach, ob die vordere Flügelseitenfläche senkrecht oder mit Anlauf hergestellt ist.

In dem Folgenden mögen nun die gebräuchlichsten Anordnungen der Stossflächen angenommen sein; es ist hierbei selbstredend, dass dieselben mit geringen Ausnahmen sowohl bei dem Böschungsflügel mit senkrechter als mit geneigter Vorderfläche angewandt werden können.

1. Der rechtwinklige Flügel mit senkrechter Vorderfläche.

Annahme: Man ordnet die einzelnen Flächen des Flügeldeckquaders in diesem Falle ausnahmslos folgendermassen an: Die normalen Stossflächen werden sowohl zur Flügel-Abdeckungsfläche als auch zu den Flügeloberkanten rechtwinklig gestellt, während die vertikalen Stossflächen der Decksteine der VPE parallel, also zur QE rechtwinklig anzuordnen sind.

Tafel 5.

Nach diesen Annahmen sind die normalen Stossfugen zu den Flügeloberkanten rechtwinklig und die vertikalen Stossfugen senkrecht. Die Böschungsfugen sind horizontal und rechtwinklig zur QE. Bei dieser einfachen Anordnung hat man es bei der Konstruktion der Fugen des Flügels mit Ausnahme

der normalen Stossfuge in der Seitenansicht nur mit horizontalen und vertikalen Geraden zu thun, so dass es nicht nothwendig ist, für die Lager- und vertikalen Stossflächen besondere Richtungsebenen festzulegen, man kann sich auf die Richtungsebene der normalen Stossflächen beschränken. Diese Ebene, deren Spuren rechtwinklig zur QE sein muss, legt man am vortheilhaftesten durch die Axe der Projektionsebenen, damit die Richtungslinien der normalen Stossfugen so lang wie möglich werden. Bei der obigen Annahme des Flügels fallen jedoch die horizontalen und vertikalen Projektionen der normalen Stossfugen beider Flügelseitenflächen mit den Projektionen der Flügeloberkanten zusammen, so dass sie normal zur Axe auftreten und nur in der Seitenansicht tritt diese Fuge zur Geltung. Man erhält ihre Projektionen einfach dadurch, dass man von e_{III} eine Normale zu $a_{III} b_{III}$ zieht.

Die Seitenansicht des Flügels giebt die wahre Grösse beider Flügelseitenflächen; man hat daher in derselben die Eintheilung der Steine vorzunehmen. Nachdem man sich zunächst für die Höhe d der normalen Stossflächen entschieden hat, zieht man in der Entfernung d zu $a_{III} b_{III}$ eine Parallele, welche in o_{III} die Stirnfläche des Bauwerkes trifft. Die Höhe $e_{III} o_{III}$ theilt man nun in die Lagerschichten ein, welche man im Allgemeinen gleich hoch anzunehmen pflegt und zieht dann die horizontalen Lagerfugen. Die Schnittpunkte der letzteren mit der Hilfsgeraden $o_{III} p_{III}$ geben die Fusspunkte der normalen Stossfugen an. Durch diese Fusspunkte zieht man nun zur Richtungslinie $e_{III} x_{III}$ Parallele und erhält hierdurch die normalen Stossfugen in der Seitenansicht, während die durch die ersteren gezogenen vertikalen Geraden die vertikalen Stossfugen der Deckquader festlegen.

Aus der Seitenansicht erhält man nun durch einfache Uebertragung die horizontalen und vertikalen Projektionen der einzelnen Flügeldeckquader.

Die Anordnung der Fuss- und Stirndeckquader hat man ebenfalls in der Seitenansicht vorzunehmen und die übrigen Projektionen von letzterer abzuleiten.

Die Austragung der Deckquader geschieht nun mit Hilfe des kleinsten parallelopipedischen Körpers, aus welchem der Stein hergestellt werden kann; man verfährt hierbei nach § 5, indem man die einzelnen Eckpunkte des Quaders in diesen Körper $a b c d e f g h$ überträgt und erstere entsprechend mit einander verbindet. Im vorliegenden Falle liegen sowohl bei dem Flügel-

Deckquader, wie bei dem Fussquader die Punkte 1. 3. 5. 7. 9 und 2. 4. 6. 8. 10 in den beiden Seitenflächen $b c f g$ und $a d e h$.

Die Form der Fugenbretter der einzelnen Deckquader hat man im vorliegenden Falle bereits in den Projektionen des Flügels. In der Seitenansicht erhält man für den Flügeldeckquader durch 1. 3. 5. 7. 9. die Fugenbretter der Seitenflächen des letzteren, während das Fugenbrett für die beiden normalen Stossflächen und dasjenige für die vertikale Stossfläche einfache Rechtecke sind, von der Breite $1. 9 = 3. 5$ bzw. $5. 7$, welche man der Seitenansicht entnimmt und der Länge $1. 2 = 3. 4$ bzw. $5. 6 = 7. 8$, welche man aus den horizontalen oder vertikalen Projektionen des Flügels abgreifen kann, und welche der Breite der Flügel-Abdeckungsfläche gleich ist.

Die Bearbeitung des Flügeldeckquaders ist im vorliegenden Falle sehr einfach. Auf der bearbeiteten vorderen Seitenfläche des parallelipedischen Steinkörpers legt man die Schablone der betreffenden Fläche an, bezeichnet ihre Umrisse und bearbeitet hiernach die übrigen Flächen sämtlich rechtwinklig zur vorderen Seitenfläche des Quaders.

2. Der rechtwinklige Flügel mit geböschter Vorderfläche.

Annahme: Die normalen Stossflächen sollen zur Flügel-Abdeckungsfläche und zu den Flügeloberkanten rechtwinklig gestellt werden, so dass ihre Ebenen zur QE normal stehen. Die vertikalen Stossflächen mögen derart angeordnet sein, dass sie zu der QE rechtwinklig und dass ihre Schnittlinien an der vorderen Flügelseitenfläche zu den Lagerfugen normal sind.

Tafel 6.

Man legt die Richtungsebene für die normalen Stossflächen wiederum durch die Projektionsaxe und verfährt zur Bestimmung der normalen Stossfugen nach § 3, Aufg. 2, S. 29, Fig. 35, Taf. 4, jedoch vereinfacht sich beim rechtwinkligen Flügel die dort angegebene Konstruktion dadurch, dass sämtliche Projektionen der normalen Stossfuge der hintern Flügelseitenfläche normal zur Projektionsaxe erscheinen und dass die niedergelegte normale Stossfuge der vorderen Flügelseitenfläche zur niedergelegten Deckkante rechtwinklig wird. Man hat daher nur einfach von e_1 eine Normale auf (a) (b) zu verzeichnen, den Schnittpunkt (x) auf $a_1 b_1$ durch x_1 zu übertragen und dann mit Hilfe von x_{III} die vertikale Projektion x_{II} zu ermitteln, so dass durch ex die Richtung der normalen Stossfugen festgelegt ist.

Nach der Annahme muss die Ebene, welche den vertikalen Stossflächen parallel sein soll, zur QE rechtwinklig stehen, mithin müssen ihre Spuren der Axe der Projektionsebenen parallel sein, so dass also die Schnittlinien dieser Richtungsebenen mit den horizontalen Lagerflächen ebenfalls zur QE rechtwinklig, also in den Projektionen parallel der Axe sind. Nach der Voraussetzung sollen ferner die Schnittlinien dieser Ebene an der vorderen Flügelseitenfläche, d. h. die vertikalen Stossfugen, zu den Lagerfugen normal stehen; da letztere nun der horizontalen Spur der vorderen Flügelseitenfläche parallel sind, diese aber nach der Konstruktion des Flügelgerippes zur Stirnfläche des Bauwerkes geneigt ist, so folgt hieraus, dass auch die Schnittlinie der Richtungsebene mit der Flügelseitenfläche zur Stirnfläche des Bauwerkes geneigt ist, mithin muss die Richtungsebene ebenfalls zur HPE geneigt sein. Es ist also die letztere keine Vertikalebene, mithin ist auch die betreffende Stossfläche des Deckquaders nicht senkrecht, obgleich sie die allgemeine Bezeichnung „vertikale Stossfläche“ zu führen pflegt. In der Praxis ist ihre Abweichung allerdings sehr klein und zwar ist sie um so geringer, je schwächer die Neigung der vorderen Flügelseitenfläche. Trotzdem ist diese geneigte Lage der Stossfläche für die Bearbeitung des Deckquaders sehr unbequem, da sie nicht allein mit der Lagerfläche schiefwinklig ist, sondern auch noch den Umstand nach sich zieht, dass die Stossfläche des benachbarten Flügelquaders nicht rechtwinklig zur horizontalen Lagerfläche steht. Diese lediglich aus ästhetischen Rücksichten erfolgte Anordnung der Stossflächen, nach welcher die vertikalen Stossfugen mit den Lagerfugen an der vorderen Flügelseitenfläche rechtwinklig sein sollen, so dass also in der niedergelegten Fläche rechte Winkel entstehen, muss für die Bearbeitung des Steines, da Stoss- und Lagerflächen schiefwinklig zu einander sind, theuer erkauft werden; aber trotzdem wird diese Wahl der Stossfläche in der Praxis vielfach angewandt, und ist daher auch hier zur Besprechung gelangt. Im vorliegenden Falle würde es vortheilhafter sein, die vertikalen Stossflächen ebenso anzuordnen, wie später bei dem schrägen Flügel auf Taf. 7—9 angegeben.

Was nun die weitere Konstruktion des Flügels unter vorliegender Annahme anbelangt, so legt man die Richtungsebene der vertikalen Stossfläche am vortheilhaftesten durch den oberen Punkt a der vorderen Flügeloberkante. Zieht man also von a , eine Normale zu $e_1 c_1$, so giebt $a_1 d_1$ die horizontale Projektion

der vertikalen Stossfuge an der vorderen Seitenfläche, während durch die Verlängerung von $a_1 d_1$, durch $d_1 (a)$ die Richtung in der niedergelegten Fläche festgelegt ist. Ueberträgt man d in die vertikale Projektion und in die Seitenansicht, so erhält man durch $d_{II} a_{II}$ und $d_{III} a_{III}$ die Richtung der vertikalen Stossfuge in der VPE und der QE.

Mit der Anordnung der Decksteine beginnt man meistens in der niedergelegten vorderen Seitenfläche des Flügels. Zunächst nimmt man in letzterer die wahre Höhe s der normalen Stossfuge an und zieht zu $(a) (b)$ in der Entfernung s eine Hilfsgerade $(o) (p)$. Diese letztere, welche $d_1 (a)$ in (m) schneidet, überträgt man in die Seitenansicht, indem man $a_1 [o] = e_{III} o_{III}$ macht und durch o_{III} zu $a_{III} b_{III}$ eine Parallele $o_{III} p_{III}$ zieht. Der Schnittpunkt dieser mit $d_{III} a_{III}$ ergibt den Punkt m_{III} . Durch letzteren muss nun die horizontale Lagerfläche des Stirndeckquaders hindurch gehen; man zieht daher durch m_{III} eine Horizontale, welche die obere Lagerfuge angiebt. Die Entfernung dieser von der Grundebene theilt man nun in die Lagerschichten ein (in der Figur auf Tafel 6 ist die untere Schicht etwas höher genommen wie die übrigen Lagen) und zieht die Lagerfugen durch $v_{III} w_{III} \dots$, welche $o_{III} p_{III}$ in den Punkten 5. 9. . . . treffen. Durch die letzteren und durch m_{III} sind in der Seitenansicht die Schnittpunkte der Lagerfugen mit den normalen und vertikalen Stossfugen gegeben, man hat daher durch dieselben nur Parallele zu $e_{III} x_{III}$ zu verzeichnen um die normalen Stossfugen zu erhalten und zu $a_{III} d_{III}$ Parallele zu ziehen, um die vertikalen Stossfugen zu bekommen. Hierauf überträgt man $w, v \dots$ in die niedergelegte Fläche, indem man $h_{III} = e_{III} v_{III}$; $h_{III} = e_{III} w_{III}$ u. s. w. macht und konstruirt durch $(v) (w) \dots$ Parallele zu $e_1 c_1$, welche $(o) (p)$ in den Schnittpunkten 5. 9. . . . treffen. Zieht man durch letztere und durch (m) zu $e_1 (x)$ und $d_1 (a)$ parallele Gerade, so erhält man die Stossfugen in der vorderen Seitenfläche des Flügels.

Aus der niedergelegten Fläche überträgt man nun die Begrenzungslinien der Deckquader in ihre horizontalen Projektionen, indem man wiederum die zur Flügeloberkante parallele Gerade op durch $o_1 p_1$ zu Hilfe nehmen kann und man hat dann die Projection sämtlicher normalen Stossfugen zu $e_1 x_1$ und sämtliche vertikalen Stossfugen zu $a_1 d_1$ parallel zu verzeichnen. Die vertikalen Projektionen bestimmt man mit Hilfe der Seitenansicht.

Tafel 6.

Zur Austragung der einzelnen Deckquader verwendet man wiederum das kleinste um den Stein zu legende Parallelopiped, indem man in dasselbe unter Bezugnahme von § 5 die Eckpunkte des Quaders einträgt und entsprechend mit einander verbindet.

Für den Flügeldeckquader mögen die Fugenbretter austragen werden und zwar ist A das Fugenbrett für die vordere Flügelseitenfläche, B dasjenige für die normalen Stossflächen, C für die vertikale Stossfläche und D für die hintere Flügelseitenfläche.

Was die Bearbeitung des Flügeldeckquaders anbelangt, so hat man bei der Anordnung des betreffenden parallelopipedischen Steinkörpers auf Tafel 6 zunächst an die vordere Seitenfläche $b c f g$ das Fugenbrett D der hinteren Seitenfläche des Quaders anzulegen, die Grenzlinien abzureissen und den Steinkörper rechtwinklig zur Fläche $b c f g$ abzarbeiten. Nachdem dieses geschehen, legt man an die normalen und vertikalen Stossflächen die Fugenbretter B bzw. C und an die Lagerfläche die betreffende Schablone 8. 7. 9. 10., sämtlich bündig mit der hinteren Seitenfläche $a d e h$, und verzeichnet dann auf den Steinkörper die Geraden 3. 5. und 1. 9., bzw. 5. 7. und 7. 9. und verbindet 3. mit 1. Nach diesen Richtungslinien arbeitet man die überflüssige Steinmasse ab, um durch die Fläche 1. 3. 5. 7. 9. dem Flügeldeckquader an der vorderen Seitenfläche die gewünschte Neigung zu geben. Selbstredend kann man das Fugenbrett für die Lagerfläche sparen, wenn man den Punkt 7. mit 9. verbindet, wie man auch für die Herstellung der Geraden 3. 1. die Schablone für die Böschungsfläche des Quaders benutzen kann. In diesem Falle würde das Fugenbrett A zur Kontrolle dienen.

3. Der sohräge Flügel mit senkrechter Vorderfläche.

Tafel 7.

Annahme. Bei diesem Flügel mögen Hakensteine zur Anwendung kommen. Die normalen Stossflächen sollen in diesem Falle rechtwinklig zu QE derart angeordnet werden, dass die normalen Stossfugen rechtwinklig zu den Flügeloberkanten stehen. Diese letzte Anordnung geschieht nur aus ästhetischen Rücksichten. Für die Bearbeitung des Steines würde es zweckmässiger sein, die Stossflächen rechtwinklig zur Flügelabdeckungsfläche zu stellen, wie es bei dem rechtwinkligen Flügel ad 1. und 2. geschehen. Die vertikalen Stossflächen sind derart zu wählen, dass ihre Vertikalebene rechtwinklig zur horizontalen

Spur der vorderen Flügelseitenfläche stehen. Man pflegt diese Stossflächen auch wohl so anzuordnen, dass ihre Vertikalebene parallel der VPE sind, wie auf Tafel 5; aber eine solche Anordnung würde bei dem schrägen Flügel sehr unzweckmässig sein, da die vertikalen Stossflächen zu den senkrechten Seitenflächen des Deckquaders schiefwinklig stehen würden, ein Umstand, der nicht allein die Bearbeitung des letzteren erschwert, sondern dasselbe auch auf den benachbarten Stein des Flügels überträgt.

Die Richtungsebene der normalen Stossflächen hat ihre horizontale Spur rechtwinklig zur QE, also parallel zur Axe; man lässt dieselbe vortheilhaft mit letzterer zusammenfallen. Da nun die normalen Stossfugen zu den Flügeloberkanten rechtwinklig stehen sollen, so erhält man ihre Lage, wenn man von e_1 zu (a) (b) eine Normale $e_1(x)$ zieht und (x) nach $a_1 b_1$ mit x_1 überträgt. $e_1 x_1$ giebt die Richtung der normalen Stossfuge in der HPE, fällt aber bei obiger Annahme des Flügels mit $a_1 b_1$ zusammen. Man legt nunmehr x in der Seitenansicht fest, indem man $x_{III} v_{III} = x_1 v_1$ macht und bestimmt hiernach die vertikale Projektion x_{II} . Durch $e_{III} x_{III}$ erhält man nun die Projektion der normalen Stossfuge in der Seitenansicht und durch $e_{II} x_{II}$ bzw. $y_{II} i_{II}$ ihre vertikale Projektion.

Man pflegt behufs Eintheilung der Decksteine auch hier in der niedergelegten Seitenfläche zu beginnen. Soll die normale Stossfuge der vorderen Fläche die Länge s erhalten, so zieht man in der Entfernung s zu (a) (b) eine Parallele (o) (p), welche die Stirnfläche des Bauwerkes in (o) trifft. Damit nun der Stirn- deckquader nicht übermässig gross wird, legt man durch den Punkt o die Lagerfläche desselben und theilt jetzt die Strecke $e_1(o) = e_{III} o_{III}$ nach der Höhe der Lagerschichten ein, und zieht die horizontalen Lagerfugen in der niedergelegten Fläche; ihr Abstand giebt dann die wahre Höhe der Lagerflächen des Deckquaders an. Durch die Schnittpunkte der Lagerfugen mit (o) (p) erhält man die Fusspunkte 5. 9 der normalen Stossfugen, durch welche man zu $e_1(x)$ Parallele zu legen hat. Hierauf entscheidet man sich für die Grösse der Lagerflächen des Deckquaders und legt durch 7 resp. 11 die zu $e_1(a)$ parallelen vertikalen Lagerfugen fest, wodurch die einzelnen Decksteine in der niedergelegten Seitenfläche des Flügels angegeben sind. Aus letzterer bestimmt man nun die horizontalen Projektionen der Eckpunkte des Deckquaders in der vorderen Seitenfläche, welche sämmtlich mit der Richtungslinie $e_1 c_1$ zusammen-

fallen. Die Projektionen der horizontalen Begrenzungslinien der normalen Stossflächen sind durch die Richtungslinie $x_1 y_1$, welche der Axe parallel läuft, gegeben, während die horizontalen Begrenzungslinien der vertikalen Stossfläche zur Spur $e_1 c_1$ rechtwinklig sind. Hierauf überträgt man die einzelnen Fugen in die Seitenansicht, indem man zunächst die Hilfsgerade $o p$ durch $o_{III} p_{III}$ festlegt, wobei man $e_{III} o_{III} = e_1 (o)$ macht und durch o_{III} zu $a_{III} b_{III}$ die Parallele zieht. Konstruiert man nun in der Seitenansicht die Lagerfugen, so schneiden diese die Hilfsgerade $o_{III} p_{III}$ in den Fusspunkten 5. 9.... der normalen Stossfugen, durch welche man zu $e_{III} x_{III}$ Parallele zu legen hat.

Zur Festlegung der Schnittpunkte der vertikalen Stossfugen der vorderen Seitenfläche mit den Lagerfugen bedient man sich am vortheilhaftesten einer Hilfsgeraden $q r$, welche man zunächst in der niedergelegten vorderen Flügelseitenfläche durch den Punkt 11 parallel zur Flügeloberkante (a)(b) anordnet. Diese Hilfsgerade trifft die vertikale Spur der vorderen Flügelseitenfläche im Punkte q , also die niedergelegte $e_1 (a)$ in (q); macht man nun $e_{III} q_{III} = e_1 (q)$, und zieht durch q_{III} zu $a_{III} b_{III}$ eine Parallele, so schneidet letztere an der vorderen Flügelseitenfläche sämtliche Lagerfugen in den oberen Begrenzungspunkten der vertikalen Stossfugen, wodurch die Lage der letzteren bestimmt ist. Zur Festlegung der vertikalen Stossfugen an der hinteren Flügelseitenfläche verfährt man am zweckmässigsten folgendermassen: Man nimmt im Grundriss den oberen Punkt einer vertikalen Stossfuge, z. B. den Punkt $z_1 (= 12)$ an, überträgt denselben in die Seitenansicht, indem man $z_{III} w_{III} = z_1 w_1$ macht und legt durch z_{III} zu $a_{III} b_{III}$ eine Parallele $u_{III} t_{III}$, welche auf sämtlichen Lagerfugen an der hinteren Seitenfläche die oberen Begrenzungspunkte der vertikalen Stossfugen festlegt. Aus der Seitenansicht ist nun mit Hilfe der gegebenen Richtungsgeraden sehr leicht die vertikale Projektion der einzelnen Fugen abzuleiten. Durch die Hilfsgeraden $o_{II} p_{II}$ und $q_{II} r_{II}$ sind die Grenzen der normalen und vertikalen Stossfugen an der vorderen Flügelseitenfläche bestimmt, während dieselbe an der hinteren Flügelseitenfläche durch die Hilfsgeraden $o_{II}' p_{II}'$ und $u_{II} t_{II}$ angegeben sind.

Die Austragung der einzelnen Quader geschieht wiederum wie vorhin. Bei dem Flügeldeck- und dem Fussquader fallen sämtliche Punkte der Seiten des Steines in die Seitenfläche des parallelopipedischen Körpers.

Die Herstellung der Fugenbretter ist im vorliegenden Falle sehr einfach; durch die niedergelegte Seitenfläche erhält man direkt die Form des Fugenbrettes für die vordere Seitenfläche des Steines A, während man das Fugenbrett für die hintere Seitenfläche des letzteren D aus dem Grundriss und der Ansicht konstruiert. Das Fugenbrett für die horizontale Stossfuge B ist ein Parallelogramm, welches man durch Niederlegen resp. Heraufklappen dadurch erhält, dass man von 9 u. 10 auf die Seite 1. 2 Normale zieht und auf diesen die Punkte (9) u. (10) festlegt, indem man $2(10) = 10(2)$ und $1(9) = 9(1)$ macht.

Betreffs der Bearbeitung des Flügeldeckquaders legt man an die Vorderfläche des parallelopipedischen Steinkörpers das Fugenbrett A, an die Hinterfläche das Fugenbrett D und reisst die Grenzen an, nach denen der Stein behauen wird.

4. Der sohräge Flügel mit gebösohter Vorderfläche.

Annahme 1.

Die normalen Stossflächen sollen rechtwinklig zur QE derart angeordnet sein, dass ihre Stossfugen zu der vorderen Flügeloberkante normal stehen, während die vertikalen Stossflächen zu der Spur $e_1 c_1$ der vorderen Flügelseitenfläche rechtwinklig sein mögen.

Tafel 8.

Nachdem man das Gerippe des Flügels festgelegt und die wahre Grösse der vorderen Flügelseitenfläche bestimmt hat, verfährt man zunächst genau so wie in dem vorigen Beispiele, da die Anordnung des Quaders dieselbe ist. Man legt also die Richtungsebene für die normale Stossfläche durch die Axe, zieht von e_1 eine Normale zu (a)(b) und erhält durch $e_1(x)$ die Richtung der niedergelegten normalen Stossfuge, mittels welcher man ihre horizontale Projektion $e_1 x_1$ und hieraus ihre Lage in der Seitenansicht durch $e_{111} x_{111}$ und in der Vorderansicht durch $e_{11} x_{11}$ erhält. Die Böschungsfuge xy ist wiederum rechtwinklig zur QE, mithin sind ihre Projektionen $x_1 y_1$ und $x_{11} y_{11}$ der Axe parallel. Durch y ermittelt man die Lage der normalen Stossfuge an der hinteren Flügelseitenfläche, indem dieselbe durch $i_1 y_1$, $i_{11} y_{11}$ festgelegt ist; $i_{111} y_{111}$ fällt mit $e_{111} x_{111}$ zusammen. Die Richtungsebene der vertikalen Stossflächen legt man wiederum durch den höchsten Punkt a der vorderen Flügeloberkante und zieht man dann $a_1 d_1$ normal zu $e_1 c_1$, so erhält man in der HPE die Lage der vertikalen Stossfuge, durch welche man die übrigen Projektionen ableitet. Man nimmt nun wiederum die

Höhe der normalen Stossfuge in der vorderen Seitenfläche mit s an und zieht zu $(a)(b)$ in der Entfernung s eine Parallele $(o)c_1$. Auf Tafel 8 ist s derart gewählt, dass letztere durch den Fusspunkt c des Flügels geht. Der Punkt (o) , welcher auf $d_1(a)$ liegen möge, wird nun zunächst in die Seitenansicht übertragen und man legt dann durch o_{III} die Lagerfläche des Stirn-
deckquaders und kann hierauf die Quaderschichten des Böschungs-
flügels eintheilen. Die weitere Konstruktion des Flügels, die
Austragung und Bearbeitung der Decksteine, ist nun genau so
wie in den vorigen Beispielen angegeben und bedarf keiner
weiteren Erklärung.

Es möge noch hinzugefügt werden, dass die vertikale Stoss-
fläche zur hinteren Flügelseitenfläche schiefwinklig ist. Um ein
event. Abstossen der hierdurch entstehenden scharfen Kante zu
vermeiden und hauptsächlich um den Flügeldeckquader ohne
Nachtheil der Konstruktion aus einem kleinern parallelpipedi-
schen Steinkörper herzustellen, wie oben angegeben, so pflegt
man zuweilen durch eine zweite Vertikalebene, welche man der
VPE parallel stellt, von dem Deckquader einen Theil abzu-
schneiden, wie bei dem Fussquader auf Tafel 11 geschehen und
wie bei Tafel 8 durch die punktirte Linie m, n angegeben ist.
Es wird in diesem Falle auf Tafel 8 der kleinste parallelpipe-
dische Körper dann dadurch erhalten, dass man im Grundriss
zwei Seiten des Rechtecks mit 1. 2. und m, n zusammenfallen
lässt. Auch vermeidet man die scharfe Kante, welche am Fuss-
quader durch die hintere Flügelseitenfläche mit der Vorderfläche
des Steines entsteht, dadurch, dass man neben den Flügel eine
kleine Futtermauer stellt und mit dieser die hintere Seitenfläche
des Fussquaders in Einklang bringt, wie auf Tafel 11 geschehen.
Der Fussquader auf Tafel 8 ist derart angeordnet, dass die
vordere Kante $cf = 1. 9.$ ebenso wie die vertikalen Stossfugen
rechtwinklig zur horizontalen Spur der vorderen Flügelseiten
steht; es ist demnach $c_1 f_1$, bzw. $c_{II} f_{II}$, bzw. $c_{III} f_{III}$ parallel
 $d_1 a_1$, bzw. $d_{II} a_{II}$, bzw. $d_{III} a_{III}$.

Annahme 2.

Tafel 9.

Die normalen Stossflächen sollen sowohl zu der Flügel-
Abdeckungsfläche als auch zu den Flügeloberkanten rechtwinklig
stehen, während die vertikalen Stossflächen wiederum in
Vertikalebene liegen mögen, welche zu der horizontalen Spur
der vorderen Flügelseitenfläche rechtwinklig sind.

Im vorliegenden Falle sind die Richtungslinien der normalen Stossfugen genau nach 1, § 3, S. 27, Fig. 32—34, Tafel 4, und die der vertikalen Stossfugen nach 3, § 3, Fig. 36, Taf. 4, zu bestimmen.

Nach Festlegung dieser Richtungslinien in allen Projektionsebenen sei zunächst die Höhe der einzelnen Steinschichten angenommen, wodurch sämtliche Lagerfugen festgelegt sind.

Um bei der Herstellung des Stirndeckquaders möglichst wenig Abfallmasse von dem parallelopipedischen Steinkörper zu erhalten, empfiehlt es sich, die Böschungsfuge des ersteren durch den höchsten Punkt f der hinteren Flügeloberkante gehen zu lassen, so dass erstere durch fn festgelegt wird, es ist hierbei natürlich $f_1 n_1$ zu $y_1 x_1$ und $f_{11} n_{11}$ zu $y_{11} x_{11}$ parallel.

Sind die beiden Seitenflächen des Flügels unter Benutzung der Figur 32, Tafel 4 niedergelegt, so kann man die weitere Konstruktion folgendermassen ausführen. Durch n_1 ermittelt man zunächst (n) und zieht zur niedergelegten normalen Stossfuge eine Parallele, welche auf der niedergelegten Lagerfuge durch (m) den Fusspunkt der betreffenden normalen Stossfuge festlegt. Zieht man nun durch (m) eine Hilfsgerade $(o)(p)$ parallel zu $(a)(b)$, so erhält man auf der niedergelegten Lagerfuge der vorderen Seitenfläche des Flügels die Fusspunkte sämtlicher normalen Stossfugen; durch diese Punkte konstruiert man zu $d_1(a)$ Parallele bis zur nächstniedrigen Lagerfuge, so ist die wahre Grösse eines jeden Deckquaders an der vorderen Flügelseitenfläche bestimmt. Aus diesen Projektionen erhält man nun durch Zurückschlagen der niedergelegten Seitenfläche die horizontalen Projektionen der Seitenfläche jedes Deckquaders, aus denen mit Leichtigkeit die Projektionen in der QE und in der VPE abgeleitet werden. Nunmehr konstruiert man die Projektionen der Böschungsfugen, indem man durch 3. 1 zu $x_1 y_1$ bzw. $x_{11} y_{11}$ Parallele zieht, welche auf der hinteren Flügeloberkante die Punkte 4. 2 festlegen.

Bei der obigen Annahme der normalen und vertikalen Stossflächen der Deckquader ist nun Folgendes zu berücksichtigen: Die vertikalen Stossflächen sind durch die Punkte m. 5. 9 u. s. w. festgelegt, da die horizontalen Spuren ihrer Ebenen rechtwinklig zu $e_1 c_1$ sein müssen. Dieselben Punkte gehören aber auch den normalen Stossflächen an und da letztere normal zu den Flügeloberkanten stehen sollen, diese aber nicht $e_1 c_1$ parallel sind, so folgt hieraus, dass die Schnittlinie der beiden Stossflächen nicht

horizontal sein kann. (Vergleiche hierzu den umgekehrten Fall von § 3, ad 5, S. 30, Fig. 38 u. 39, Tafel 4, in welchem die Schnittlinie der beiden Flächen horizontal angenommen ist, aber dahingegen die normale Stossfläche nicht rechtwinklig zu den Flügeloberkanten steht.) Es empfiehlt sich aber sowohl die vertikale, als auch die normale Stossfläche mit der horizontalen Lagerfläche abschneiden zu lassen, damit durch die senkrechten Stossflächen der benachbarten Steine in der Flügelmauer kein hohler Raum entstehen kann. Man denkt sich daher die durch die Punkte m 5. 9. gelegte Lagerfläche ein wenig erweitert und mit dieser und den normalen und vertikalen Stossflächen die Durchschnitlinien, die erstere ist auf Taf. 9 mit 5. 6., die zweite mit 5. 12. bezeichnet, mithin entsteht an dem Flügeldeckquader das Dreieck 5. 6. 12 und es tritt die vertikale Stossfuge an der hinteren Fläche um die Länge 6. 12. vom Fusspunkt der normalen Stossfuge zurück.

Zur Festlegung der Begrenzungslinien der Deckquader an der hinteren Flügelseitenfläche bedient man sich der niedergelegten Fläche $g_1 (g) (f) f_1$ und erhält dann gleichzeitig die wahre Grösse der betreffenden Seitenfläche jedes Steines. Zunächst legt man die horizontalen Lagerfugen nieder, deren Abstand von einander der Seitenansicht oder der VPE entnommen wird. Auf der Flügeloberkante $(f) (g)$ sind die Grenzpunkte der Böschungsfuge durch $(f) (4) (2)$ bestimmt und legt man durch diese zur Richtungslinie der normalen Stossfuge Parallele, so geben die Schnittpunkte der letzteren mit den zugehörigen niedergelegten Lagerfugen die Fusspunkte 6. 10. der normalen Stossfugen, welche man in die HPE und von hier aus in QE und VPE unter Zunahme der Hilfsgeraden $(u) (t)$ überträgt. Durch Verbindung der Punkte 6. 10. mit 5. 9. ist die letzte Begrenzungslinie der normalen Stossfläche bestimmt.

Falls die Seitenflächen des Flügels nicht ermittelt sind, so verfährt man einfach folgendermassen: Durch die Böschungsfuge des Stirndeckquaders erhält man auf der vordern Flügeloberkante den Punkt n , und zieht man durch n_{11} eine Parallele zur Richtungslinie der normalen Stossfuge, so trifft erstere die Lagerfuge des Stirndeckquaders in m_{11} und legt man durch diesen Schnittpunkt eine Hilfsgerade $o_{11} p_{11}$ parallel zur $a_{11} b_{11}$, so giebt dieselbe auf sämtlichen Lagerfugen die Fusspunkte 5. 9. . . . für die Stossfugen an. Durch letztere sind nun, mit Ausnahme der vertikalen Stossfugen an der hinteren Flügelseitenfläche, die

Begrenzungslinien eines jeden Steines festgelegt, indem man von diesem Punkte 5. 9. . . . ausgehend zu den betreffenden Richtungs-
linien nur Parallele zu verzeichnen hat. In der Seitenansicht
kann man nun ebenso verfahren, indem man durch n_{III} parallel
zu $x_{III}k_{III}$ auf der oberen Lagerfuge den Schnittpunkt m_{III} be-
stimmt und durch diesen die Hilfsgerade $o_{III}p_{III}$ legt, oder in-
dem man die Grenzpunkte der Fugen aus der VPE in die QE
überträgt. Die Konstruktion der Fugen in der HPE geschieht
nun analog, jedoch ist es vortheilhafter die Seitenansicht zu Hilfe
zu nehmen, da die horizontalen Projektionen der normalen Stoss-
fugen die horizontalen Lagerfugen an der Vorderfläche des Flügels
unter einem sehr spitzen Winkel schneiden und der weitere Auf-
bau auf diese Schnittpunkte zu ungenau werden würde. Die
vertikale Stossfläche jedes Deckquaders ist im Grundriss durch
die Punkte m_1 . 5. 9 festgelegt, da man durch letztere nur
zu $e_1 c_1$ normale Gerade zu ziehen hat, welche die hintere Flügel-
seitenfläche in den Punkten 12 treffen. Letztere überträgt
man für jeden einzelnen Stein in die QE und VPE und erhält
durch die vertikalen Geraden 12. 8. . . . die vertikalen Stoss-
fugen an der verdeckten Seitenfläche des Flügels.

Die Austragung der Steine geschieht nach bekannten
Grundsätzen, indem die Eckpunkte in den betreffenden parallelo-
pipedischen Körper eingetragen werden, während die Konstruktion
der Fugenbretter durch Niederlegung der betreffenden Flächen
erwirkt wird.

Dieser Deckquader erhält unter den obigen Annahmen bei
dem schrägen Böschungsflügel die günstigste Form und lässt
sich daher am leichtesten bearbeiten, denn nicht allein stehen
die normalen Stossflächen zur Flügelabdeckungsfläche senkrecht,
sondern es sind auch die Böschungs- und die normalen Stoss-
fugen zu den Oberkanten des Steines rechtwinklig, und ausser-
dem sind die vertikalen Stossflächen zu den Lagerflächen normal.

Annahme 3.

Der schräge Flügel möge die Anordnung von Fig. 5, Tafel 10.
Taf. 3 erhalten, nach welcher die horizontale Spur der vorderen
Flügelseitenfläche zur Stirnfläche des Bauwerkes rechtwinklig
steht. Die normalen Stossflächen sind sowohl zur Flügel-
abdeckungsfläche als auch zur QE rechtwinklig anzuordnen,
während die vertikalen Stossflächen der VPE parallel anzu-
nehmen sind.

Man legt am vortheilhaftesten die Richtungsebene der normalen Stossfugen durch die Axe der Projektionsebene, so erhält man in der Seitenansicht die betreffende Richtungslinie, wenn man von e_{III} auf $a_{III} b_{III}$ eine Normale $e_{III} x_{III}$ zieht. Ueberträgt man x in die HPE, indem man $w_1 x_1 = w_{III} x_{III}$ macht, so ist durch $e_1 x_1$ die Richtungslinie der horizontalen Projektion der normalen Stossfuge in der vorderen Seitenfläche bestimmt, legt man den Punkt x nieder und verbindet man (x) mit e_1 , so ist $e_1 (x)$ die betreffende Richtung in der niedergelegten vorderen Seitenfläche; hierbei sei bemerkt, dass $e_1 (x)$ nicht rechtwinklig zu $(a) (b)$ steht, es ist also bei obigen Annahmen die normale Stossfuge in der niedergelegten Fläche nicht rechtwinklig zur Flügeloberkante und man hat bei dem Fugenbrett A darauf zu achten, dass bei (1) und (3) keine rechte Winkel entstehen. Die vertikale Projektion der Richtungslinie der normalen Stossfugen in der vorderen Flügelseitenfläche fällt, wie die gesammten an dieser Fläche vorkommenden vertikalen Projektionen mit $e_{II} a_{II}$ zusammen. Die Projektionen der Richtungslinien der Böschungsfuge sind der Axe parallel, während durch $i y$ die Richtung der normalen Stossfugen an der hinteren Flügelseitenfläche angegeben ist; bei letzterer fällt $i_1 y_1$ mit der horizontalen Projektion der hinteren Flügeloberkante zusammen, während $i_{III} y_{III}$ sich mit $e_{III} x_{III}$ deckt.

Die vertikalen Stossfugen sind in der Seitenansicht und der VPE senkrecht, während sie an der vorderen Flügelseitenfläche sowohl in der HPE als auch in der niedergelegten Fläche als Gerade auftreten, welche der Projektionsaxe parallel sind.

Die Anordnung der Decksteine, die Austragung derselben und die Herstellung der Fugenbretter sind analog den früheren Beispielen und bieten keine Schwierigkeiten, und nur möge über die Bearbeitung des Deckquaders dem Früheren Einiges hinzugefügt werden. Es wird sich im vorliegenden Falle fast ausnahmslos empfehlen, in der HPE das kleinste Rechteck, welches den Grundriss eines Deckquaders einschliesst, so zu legen, dass zwei Seiten der Axe parallel sind. Bei dieser Annahme kann man nun nach Herstellung des parallelopipedischen Körpers $abcdefgh$ die beiden Fugenbretter A und D nicht direkt verwenden, da sie Ebenen angehören, welche mit den Seitenflächen des obigen Körpers nicht zusammen fallen. Es wird daher rathsam sein, ein drittes Fugenbrett E zu konstruiren, welches in eine Seitenfläche fällt, und welches auf Tafel 10 mit 7. 9. (15).

(13). (11). 7. bezeichnet ist und abweichend von A bei den Punkten (13) und (15) rechtwinklig ist. Mittels dieser Schablone wird der Stein zunächst nun derart bearbeitet, als wenn er mit den beiden Seitenflächen des parallelipedischen Körpers bündig abschliessen würde; mit Hilfe des Fugenbrettes für die Lagerfläche, welches man direkt der horizontalen Projektion des Quaders entnimmt und welches in Tafel 10 mit 8. 7. 9. 10. benannt ist, wird nun die Lagerfläche des Deckquaders auf der Grundfläche abgh verzeichnet und die Fugenbretter B und C entsprechend dem Steinkörper angetragen und hiernach der Quader weiter bearbeitet, wie im vorigen Beispiele angegeben.

§ 7.

Die Anordnung der Flügeldeckplatten beim schrägen Böschungsflügel.

Die Deckplatten werden derart angeordnet, dass sie über der vorderen Flügeloberkante um einige Centimeter hervorragen, oder dass sie mit letzterer bündig sind. Es sei im Folgenden nur der letztere Fall angenommen, denn der erstere unterscheidet sich von diesem dadurch, dass die Deckplatten um dies überstehende Stück breiter werden. Ferner möge die Anordnung der Deckplatten nur beim schrägen Flügel mit geböschter Vorderfläche besprochen werden, einestheils da dieser in der Praxis am meisten vorkommt, anderntheils da bei dem schrägen Flügel mit senkrechter Vorderfläche die Konstruktion sich bedeutend vereinfacht und letztere beim rechtwinkligen Flügel noch mehr Erleichterungen bietet.

Die Lagerflächen der Deckplatten werden stets der Flügelabdeckungsfläche parallel angeordnet, so dass die Lagerfugen den Flügeloberkanten parallel sind.

Die normalen Stossflächen werden in den meisten Fällen rechtwinklig zur Flügelabdeckungsfläche und entweder zur QE, Tafel 11, oder zu den Flügeloberkanten, Tafel 12, normal gestellt. Die letzte Anordnung ist die beste, denn nicht allein hat der parallelipedische Steinkörper, aus welchem die Deckplatte hergestellt wird, die geringste Abfallmasse, sondern die Bearbeitung des Steines ist auch eine sehr einfache, da die Böschungsfläche der Platte ein Rechteck bildet, während dieselbe bei der ersten Anordnung ein Parallelogramm darstellt, dessen Winkel um so mehr von 90^0 abweichen, je schräger der Flügel angenommen ist. Aber trotzdem wird diese Konstruktion, die

normale Stossfläche rechtwinklig zur QE anzuordnen, in der Praxis vielfach angewandt, da man theils die horizontale Lage der Böschungsfuge für schöner erachtet, theils aber auch bei der zweiten Annahme der normalen Stossfläche ein Gleiten der Platte befürchtet. Zuweilen pflegt man die normale Stossfläche auch derart festzulegen, dass man dieselbe entweder zur QE oder zu den Flügeloberkanten rechtwinklig stellt, derart, dass die Stossfuge an der vorderen Flügelseitenfläche normal zur Flügeloberkante steht. Diese beiden nur aus ästhetischem Zwecke getroffenen Anordnungen sind aber sehr unzweckmässig, da die Stossflächen in diesem Falle nicht rechtwinklig zur Lagerfläche resp. zur Böschungsfläche stehen und die Bearbeitung der Deckplatten erschwert wird.

Die hintere Seitenfläche des Flügels pflegt man stets vertikal herzustellen, so dass ihre horizontale Spur mit der hinteren Flügeloberkante zusammenfällt, da aber letztere beim schrägen Flügel zur Stirnfläche des Bauwerkes geneigt ist, so trifft auch die erstere die Axe der Projektionsebenen schiefwinklig. Hieraus folgt, dass in der betreffenden Vertikalebene keine Gerade liegen kann, welche zur Erdböschungsfläche, deren Spuren zur Axe parallel sind, rechtwinklig steht, mithin ist die hintere Seitenfläche des Flügels nicht rechtwinklig zur Abdeckungsfläche, also auch die normale Stossfuge schiefwinklig zur hintern Flügeloberkante, vorausgesetzt, dass die normale Stossfläche zur Böschungsfläche rechtwinklig gestellt ist. Für die Herstellung der Deckplatten ist es aber vortheilhafter, die hintere Seitenfläche derselben zur Abdeckungsfläche rechtwinklig zu halten, und man bearbeitet die Platten auch stets in diesem Sinne. Die Ebene, welche die hintere Flügeloberkante enthält und zur Abdeckungsfläche normal steht, lässt sich nun leicht nach Aufg. 30, S. 12, Fig. 103, konstruiren. Es ist jedoch nicht nothwendig die Spuren derselben zu ermitteln, da man weiss, dass die normale Stossfuge rechtwinklig zur Abdeckungsfläche stehen muss, also ihre Projektionen im vorliegenden Falle parallel der QE erscheinen. Ist daher die Böschungsfuge durch xy festgelegt, so erhält man die Schnittlinie der normalen Stossfläche mit der Ebene der hinteren Seitenfläche der Platte dadurch, dass man von y_1 resp. y_{11} aus eine Gerade zieht, deren Projektionen parallel zur QE, also rechtwinklig zur Axe sind, während dieselbe in der Seitenansicht normal zur Flügeloberkante sein muss. Es ist mithin durch

$i_1 y_1$ und $i_{11} y_{11}$ bzw. $i_{111} y_{111}$, Tafel 11 und 12, die Richtung der normalen Stossfuge an der hintern Seitenfläche festgelegt.

Um zu verhüten, dass das durch die normalen Stossflächen event. hindurch sickernde Wasser von dem eigentlichen Flügelbauwerk fern gehalten wird und besonders, um einen innigen Verband zwischen den einzelnen Deckplatten zu erzielen, lässt man letztere wohl um einige Centimeter übereinander greifen. Diese Anordnung bietet betreffs der Konstruktion der Stoss- und Lagerfugen keinerlei Schwierigkeit, da man es mit zwei parallelen Stossflächen zu thun hat und mag daher hier übergangen werden. Es mögen im Folgenden die beiden hauptsächlichsten Anordnungen der Deckplatten einzeln besprochen werden.

Annahme 1.

Die normalen Stossflächen werden zur Flügel-Abdeckungsfläche und zur QE rechtwinklig angeordnet.

Nachdem das Gerippe des Flügels construiert ist, nimmt man eine Richtungsebene zu Hilfe, welche den Stossflächen parallel ist und bestimmt die Richtungen der normalen Stossfugen in allen Projektionsebenen nach § 3, ad 2, S. 29, Fig. 35, Tafel 4 mit der Modification der Stossfuge an der hinteren Seitenfläche der Deckplatte. Diese ist nach Obigem rechtwinklig zur Flügelabdeckungsfläche, mithin muss die normale Stossfuge hier der QE parallel erscheinen, man hat also nur von y_1 resp. y_{11} Normale zur Axe zu ziehen, welche durch $y_1 i_1$ und $y_{11} i_{11}$ die Richtung der normalen Stossfuge an der hinteren Flügelseitenfläche bestimmen. Durch $i_1 c_1'$ ist die horizontale Spur und durch $i_{11} f_{11}$ die vertikale Spur der Ebene der hinteren Seitenflächen der Deckplatten festgelegt.

Tafel 11.

Nachdem sämtliche Richtungslinien der normalen Stossfugen bestimmt sind, konstruiert man die Lagerfugen, indem man die Stärke d der Deckplatten annimmt und genau nach § 3, ad 4, S. 30, Fig. 37, Tafel 4 verfährt. Hierbei sei bemerkt, dass q_{11} auf der vertikalen Spur $i_{11} f_{11}$ liegt. Durch die Kante q r legt man nun am zweckmässigsten die Vertikalebene für die hintere Seitenfläche des eigentlichen Flügels. Hierauf entscheidet man sich für die Breite resp. Länge der Deckplatten resp. nimmt dieselbe nach Eintheilung der Abdeckungsfläche in der Seitenansicht an, indem man die obere Deckplatte hart an der Seitenfläche des Bauwerkes in $o_{111} p_{111}$ beginnen lässt und zieht man nun durch o_{111} , 5. 7 zu $e_{111} x_{111}$ Parallele, so erhält man

in der QE die normalen Stossfugen sämtlicher Deckplatten. Die Uebertragung der letzteren in die VPE und HPE sowie in die niedergelegte vordere Seitenfläche des Flügels ist den früheren Konstruktionen analog.

Betreffs der Austragung der Flügeldeckplatte nimmt man auch hier den kleinsten parallelopipedischen Steinkörper, der die Deckplatte umgrenzt, zu Hilfe. Man erhält die Abmessungen desselben folgendermaassen: Man denkt sich zunächst die Grundfläche $a b g h$ auf die geneigte Lagerfläche der Deckplatten gelegt und man hat auch jetzt wiederum das kleinste Rechteck um die horizontale Projektion der betreffenden Deckplatte zu konstruieren. Man kann zwei Seiten desselben entweder mit den Lagerfugen 7. 5 und 8. 6 oder mit den Böschungsfugen 5. 6 und 7. 8 zusammenfallen lassen. Meistens wird man das kleinste Rechteck bei der letzten Annahme erhalten, wie auch auf Tafel 11. In diesem Falle findet man die Seitenansicht des gesuchten Parallelopipedons direkt in der QE durch die Begrenzungslinien der Platte, während die Breite desselben der HPE oder VPE entnommen wird. Die Festlegung der Endpunkte der Deckplatte in den parallelopipedischen Steinkörper, die Konstruktion der Fugenbretter und die Bearbeitung der Platte bieten keine Schwierigkeiten.

Annahme 2.

Die normalen Stossflächen werden zu der Flügel-Abdeckungsfläche und zu den Flügeloberkanten rechtwinklig gestellt.

Tafel 12.

Zur Festlegung der Hilfsebene, welche sämtlichen normalen Stossflächen parallel ist, verfährt man nach § 3, ad 1, S. 27, Fig. 32—34, Tafel 4, wobei man zu beobachten hat, dass nach Obigem die hintere Seitenfläche der Deckplatte nicht vertikal, sondern rechtwinklig zur Flügelabdeckungsfläche angeordnet werden muss, mithin wird die Richtungslinie der normalen Stossfugen an der betreffenden Seitenfläche von § 3 eine Abweichung erleiden. Man legt diese Hilfsebene am zweckmässigsten folgendermaassen: Unter der Annahme, dass die hintere Seitenfläche der Deckplatte zu der Flügelabdeckungsfläche rechtwinklig angeordnet wird, zieht man von $i_{111} = e_{111}$ eine Normale zu $a_{111} b_{111}$, so ist durch $i_{111} y_{111}$ die Richtung der normalen Stossfuge in der QE bestimmt und überträgt man y in die HPE und VPE, konstruiert von y_1 und y_{11} Normale zur Axe, so hat man durch $i_1 y_1$ und $i_{11} y_{11}$ die Richtungslinie der normalen Stossfuge. Der Punkt i liegt in der Axe, mithin muss durch denselben die

horizontale Spur der Hilfsebenen der normalen Stossflächen hindurchgehen und da letztere rechtwinklig zu den Flügeloberkanten liegen muss, so hat man zu letzteren von i_1 aus eine Normale zu verzeichnen, welche dann die horizontale Spur der vorderen Flügelseitenfläche in k_1 schneidet. Von k_1 ziehe Normale zu (a) (b), wodurch man (x) erhält und bestimmt man von demselben die Projektionen, so ist durch $k_1 x_1$, $k_{111} x_{111}$ und $k_{11} x_{11}$ die Richtung der normalen Stossfugen an der vorderen Flügelseitenfläche bestimmt. Verbindet man x_1 mit y_1 und x_{11} mit y_{11} , so erhält man durch $x_1 y_1$ und $x_{11} y_{11}$ die Richtung der Böschungsfuge.

Hierauf konstruiert man die Lagerfugen nach § 3, ad 4, S. 30, Fig. 37, Tafel 4, wobei hinzugefügt werden mag, dass q_{11} auf der vertikalen Spur $i_{11} f_{11}$ liegt. Jetzt nimmt man die Eintheilung der Platten in der niedergelegten vorderen Flügelseitenfläche vor. Hierbei kann die obere Deckplatte mit der Stirnfläche des Bauwerkes bündig abschneiden, wie auf Tafel 12 angenommen, oder, um einen Verband hervorzubringen, kann dieselbe in das Bauwerk eingreifen, wie durch die punktirten Linien in der HPE Tafel 12 angedeutet ist, oder es wird auch der Stirndeckquader mit horizontaler Lagerfläche angeordnet.

Betreffs der Austragung der Deckplatte ist im vorliegenden Falle zu berücksichtigen, dass die Stossflächen und die hintere Seitenfläche der Platte zur Lagerfläche rechtwinklig stehen, so dass dieselben mit dem betreffenden parallelopipedischen Steinkörper, aus welchem die Deckplatte hergestellt wird, bündig sind, es fallen daher mit Ausnahme von bc , cf und fg sämtliche Kanten des Parallelopipeds mit den betreffenden Kanten der Deckplatte zusammen. Man erhält die Dimensionen des parallelopipedischen Steinkörpers aus den horizontalen und vertikalen Projektionen jeder Seite nach Aufg. 5, S. 2, Fig. 14, Tafel 1, und zwar sind auf Taf. 12 die wahren Längen von ab und cb in der HPE konstruiert, während die Strecke bg der niedergelegten vorderen Seitenfläche entnommen wird. Es ist die Länge des Steines $bg = (b)(g)$, die Breite $ab = (a)(b)$ und die Dicke $bc = (b)(c)$. Die Platte selbst ist bis auf die geneigte Vorderfläche überall rechtwinklig, so dass die Konstruktion der Fugenbretter und die Bearbeitung des Steines äusserst einfach ist. Ausser der Flügeldeckplatte F ist auf Tafel 12 auch die Stirndeckplatte S in horizontaler Lage mit Angabe der Fugenbretter verzeichnet.

§ 8.

Die concaven Böschungsflügel.

Die Leitlinie der concaven Flügel sei kreisförmig angenommen und der Radius derselben, welcher von der örtlichen Lage des Bauwerkes abhängt, sei durch c, m gegeben. Die Neigung der Erdböschung, die Höhe des Bauwerkes und die Breite der Deckquader sind bekannt.

Je nach der Annahme der vorderen Flügelseitenfläche, ob dieselbe vertikal oder geneigt, ob sie im letzteren Falle cylindrisch oder kegelförmig angeordnet werden soll, konstruirt man zunächst die Projektionen des Flügels und die wahre Grösse der abgewickelten Flügelseitenfläche nach IV § 2 S. 20. Es möge genügen im Folgenden nur die Abdeckung des Flügels durch treppenförmige Deckquader zu besprechen, da die Konstruktion der Plattenabdeckung hieraus leicht abgeleitet werden kann.

1. Der concavocylindrische Flügel mit senkrechter Vorderfläche.

Die Lagerflächen eines Deckquaders werden bei diesem Flügel horizontal angeordnet, so dass die Lagerfugen der Leitlinie der Cylinderfläche parallel, also kreisförmig sind und in der HPE mit ersterer zusammenfallen, in der VPE und der Seitenansicht dagegen als horizontale Gerade auftreten. Die vertikalen Stossflächen stellt man rechtwinklig zu der Leitlinie der Flügelseitenfläche, so dass ihre Schnittlinien mit den Lagerflächen in der HPE sämtlich radial sind. Diese Stossflächen schneiden die Cylinderfläche in der Richtung der Erzeugenden, mithin sind die vertikalen Stossfugen senkrechte Gerade. Bezüglich der normalen Stossflächen pflegt man dieselben nach den beiden bereits oben angegebenen Annahmen anzuordnen, welche im Folgenden einzeln besprochen werden mögen.

Annahme 1.

Tafel 13.

Die normalen Stossflächen sollen zur Flügel-Abdeckungsfläche und zur QE rechtwinklig angeordnet werden.

Obgleich eine Richtungsebene der normalen Stossflächen bei dem concaven Flügel keinen grossen Vorthail gewährt, da die parallelen Ebenen die Leitlinie der Cylinderfläche nicht unter gleichem Winkel treffen, also auch die Durchschnittslinien der parallelen Richtungsebenen mit der Cylinderfläche nicht parallel sein können, mithin für jeden einzelnen Fall die Richtung der normalen Stossfuge besonders konstruirt werden muss, so sei

dennoch eine Richtungsebene angenommen, um aus der Bestimmung der Richtungen ihrer Stossfugen die Konstruktion der übrigen Fugen zu ersehen. Die Schnittlinie dieser Ebene mit den Flügelseitenflächen muss im Raume ein Theil einer Ellipse sein. Legt man, Tafel 13, die Richtungsebene durch die Axe der Projektionsebenen, so erhält man ihren Schnitt mit der Flügelabdeckungsfläche, wenn man von e_{111} eine Normale zu $a_{111} b_{111}$ zieht, so dass durch $e_{111} x_{111}$ die Richtung der normalen Stossfuge in der Seitenansicht festgelegt ist. Bestimmt man aus x_{111} nun x_1 und x_{11} , so erhält man durch $x_1 e_1$ die horizontale Projektion der normalen Stossfuge, welche mit der Leitlinie der Cylinderfläche zusammenfällt. Aus dieser und der Seitenansicht konstruirt man nun mit Hilfe von Zwischenpunkten ihre vertikale Projektion $x_{11} z_{11} e_{11}$. Auf Tafel 13 ist nur ein Punkt z der Schnittlinie angenommen, welcher auf der Erzeugenden $v w$ liegt und zwar ist die Lage von z_{11} durch z_{111} und z_1 bestimmt. Da die normale Stossfläche rechtwinklig zur QE stehen soll, so muss die Richtung der Böschungsfuge der Axe parallel sein, so dass durch x_1 und x_{11} auch letztere durch $x_1 y_1$ und $x_{11} y_{11}$ festgelegt ist. Die normale Stossfläche an der hinteren Flügelseitenfläche fällt in der Seitenansicht mit $e_{111} x_{111}$, in der horizontalen Projektion mit der Leitlinie $y_1 f_1$ zusammen, während ihre vertikale Projektion genau so konstruirt wird wie $x_{11} z_{11} e_{11}$. In der abgewickelten Flügelseitenfläche (e) (a) (b) (c) ist (e) (z) (x) wieder mit Hilfe der Erzeugenden $v w$ festgelegt.

Bei Anordnung der einzelnen Steine verfährt man nun folgendermassen: Nachdem man die Höhe der einzelnen Steinschichten, also die Lagerfugen angenommen hat, zieht man in der angenommenen Breite der normalen Stossfläche zu $a_{111} b_{111}$ eine Parallele $o_{111} p_{111}$, welche die horizontalen Lagerschichten in den Punkten (5). (9) trifft. Durch letztere zieht man nun zu $e_{111} x_{111}$ parallele Gerade, um die normalen Stossfugen festzulegen und vertikale Gerade zur Bestimmung der vertikalen Stossfugen, so dass hierdurch die Deckquader an der vorderen Flügelseitenfläche in der Seitenansicht bestimmt sind. Aus letzterer konstruirt man zunächst die horizontale und hieraus die vertikale Projektion, indem man $o_{11} p_{11}$ zu Hilfe nimmt. Die Festlegung der gekrümmten normalen Stossfuge in der VPE geschieht nun entweder analog der besprochenen Fuge $x_{11} z_{11} e_{11}$, indem man durch die Böschungsfugen 1, 2 resp. 3, 4 die betr. Ebenen legt und mit den Flügelseitenflächen die Schnitte bestimmt, oder man

beschränkt sich mit der Festlegung der normalen Stossfuge nur auf den nothwendigen Theil, welcher zwischen a_{11} b_{11} und o_{11} p_{11} resp. zwischen 1 und 9 oder 3 und 5 oder liegt und bestimmt mittels horizontaler Hilfsebenen Zwischenpunkte nach derselben Weise der Festlegung von z_{11} . Durch die Punkte 1, 3, 5, 9 zieht man zu x_1 y_1 und x_{11} y_{11} Parallele bis zur hinteren Flügelseitenfläche, so sind durch 1, 2, 10, 9 und 3, 4, 6, 5 die normalen Stossflächen festgelegt. Die vertikalen Stossflächen sind radial anzuordnen und da dieselben durch die Punkte 5, 9 gehen, so zieht man in der HPE die radialen Geraden 5, 12 = 7, 8 resp. 9, 12 = 7, 8, wodurch auf der hinteren Flügelseitenfläche die vertikale Stossfuge 12, 8 festgelegt ist, welche man von hieraus in die VPE und in die Seitenansicht überträgt.

Betreff der Austragung des Flügeldeckquaders konstruirt man wieder den kleinsten parallelopipedischen Steinkörper aus dem der Quader bearbeitet werden kann, dessen Grundriss man aus dem kleinsten Rechteck erhält, welches um die horizontale Projektion des Steines gelegt werden kann und dessen Höhe der Ansicht entnommen wird. Mit Hilfe dieses Parallelopiped legt man zunächst die Eckpunkte des Steines fest und nimmt zur Bestimmung der gekrümmten Linie des Flügeldeckquaders soviel Erzeugende zu Hilfe, als zur genauen Festlegung der Cylinderfläche nothwendig erscheinen. Bei dem Fussquader G, Tafel 13, ist eine solche Erzeugende s_0 s angewendet worden.

Was die Bearbeitung des Steines anbelangt, so verfährt man hierbei am zweckmässigsten derart, dass man nach Herstellung des parallelopipedischen Steinkörpers zunächst ein Cylinderstück bearbeitet, welches in der Fig. F, Tafel 13, mit 16, 15, 13, 14, 8, 7, 17 und 18 bezeichnet ist, für welches man die Schablone der Lagerflächen aus der horizontalen Projektion des Flügeldeckquaders durch die Fig. 2, 1, 7, 8 entnimmt. Mit Hilfe der abgewickelten Seitenfläche des Flügels erhält man die wahre Grösse der vorderen Fläche des Flügeldeckquaders durch das Fugenbrett A und diejenige der hinteren Seitenfläche durch das Fugenbrett D. Mittels dieser beiden Schablonen A und D werden auf dem Cylinderstück die seitlichen Begrenzungslinien des Flügeldeckquaders übertragen und hiernach der Stein bearbeitet, wobei bemerkt sein mag, dass die Schablonen aus biegsamem Material, aus Blech, Pappe u. dgl. hergestellt werden müssen, damit sie sich der Cylinderfläche anschmiegen können.

Annahme 2.

Die Lager- und vertikalen Stossflächen behalten die oben angegebene Lage, während die normalen Stossflächen sowohl zu der Flügelabdeckungsfläche als zu den Flügeloberkanten rechtwinklig stehen sollen.

Nachdem das Gerippe des Flügels festgelegt und die Höhe der einzelnen Steinschichten bestimmt sind, ordnet man zunächst die normalen Stossflächen an. Nach der Annahme können die letzteren der einzelnen Flügeldeckquader nicht einander parallel sein, wie dieses bei den früheren Flügelanordnungen stets der Fall war, da die Flügeloberkanten Kurven sind, zu denen die Stossflächen rechtwinklig stehen sollen. Die Stossfugen erscheinen in allen Projektionsebenen als gekrümmte Linien, es muss daher jede einzelne normale Stossfläche besonders festgelegt werden.

Tafel 14.

Hierbei kann man nun mehrere Wege einschlagen und wie folgt konstruieren:

1. Es sei angenommen, dass die normale Stossfläche durch den Punkt x^1 gehen soll, welcher auf Tafel 14 durch seine Projektionen x_1^1 , x_{11}^1 und x_{111}^1 festgelegt ist. Die festzulegende Fläche soll zu der Flügeloberkante rechtwinklig sein, mithin muss sie zu der in x^1 konstruirten Tangente normal sein. Man hat daher nur zu letzterer eine senkrechte Ebene festzulegen, welche den Berührungspunkt x^1 enthält und dann die Schnitte dieser Ebene mit dem Böschungsflügel zu bestimmen. Verfahre hierbei zunächst nach Aufgabe 25 S. 9 oder vereinfache das Verfahren folgendermassen: Die horizontale Projektion der Tangente ist in x_1^1 eine Berührungsgerade an die Leitlinie und trifft die horizontale Spur der Flügelabdeckungsfläche (Erdböschung) in l_1 . Legt man nun die Tangente um ihre horizontale Projektion nieder, indem man $(x^1) x_1^1 = x_{111}^1 x_0^1$ macht und errichtet man in (x^1) zu $(x^1) l_1$ eine Normale, so trifft diese die verlängerte $l_1 x_1^1$ in o_1 , wodurch ein Punkt der horizontalen Spur der normalen Stossfläche und hierdurch die Spur S_1 selbst festgelegt ist. Zur Bestimmung der Böschungsfuge legt man an die hintere Flügeloberkante zu der durch x^1 gehenden Tangente eine parallele Berührungsgerade, deren horizontale Projektion $p_1 v_1 q_1$ und klappt auch diese nieder, indem man zunächst durch v_1 die Projektion v_{111} bestimmt, dann $v_1 (v) =$ der Senkrechten $v_0 v_{111}$ macht und hierauf (v) mit q_1 verbindet. Zu dieser Geraden muss nun die Ebene S ebenfalls rechtwinklig stehen; zieht man daher von p_1 eine Normale zu $q_1 (v)$, so trifft dieselbe letztere in (y^1) , wodurch

dann auch y_1' und hieraus die horizontale Projektion der Böschungsfuge $y_1' x_1'$ bestimmt ist, durch welche sich mit Hilfe von y_{III}' auch die vertikale Projektion $x_{II}' y_{II}'$ festlegen lässt. Klappt man die Lagerfuge der ersten Steinschicht nieder, indem man in der Entfernung h zu $o_1 l_1$ und $p_1 q_1$ Parallele zieht, so werden diese von (x') o_1 bzw. (y') p_1 in (z') getroffen, wodurch die Schnittlinie der normalen Stossfläche mit der Lagerfläche durch $z_1' z_1'$ bestimmt ist.

Die horizontale Spur S_1 der normalen Stossfläche schneidet die Leitlinien in r_1 und w_1 und überträgt man diese Punkte, sowie die Schnittpunkte z_1' in die Seitenansicht und in die VPE, so erhält man durch die gekrümmten Linien $x_{II}' z_{II}' r_{II}'$ und $x_{III}' z_{III}' r_{III}'$ bzw. durch $y_{II}' z_{II}' w_{II}'$ und $y_{III}' z_{III}' w_{III}'$ die Projektionen der Schnittlinien der normalen Stossfläche mit den beiden Flügel-seitenflächen und von diesen ist dann die Strecke $x' z'$ bzw. $y' z'$ die verlangte Stossfuge. — Falls zur genauen Festlegung der Kurven noch weitere Zwischenpunkte erforderlich sein sollten, so verwendet man mehrere horizontale Hilfsebenen.

2. Soll die normale Stossfläche durch den Punkt x , welcher durch seine Projektionen $x_I x_{II} x_{III}$ bestimmt ist, hindurchgehen, so braucht man nur den nothwendigen Theil der Stossfugen festzulegen, indem man zwischen x und der betreffenden Lagerfläche mehrere horizontale Hilfsebenen E, F, G u. s. w. anordnet. Man zieht dann in x_1 eine Tangente an die Leitlinie, legt dieselbe wie vorhin nieder und errichtet in (x) zu $k_1 (v)$ eine Normale, welche die um h_1 niedergelegte Lagerfläche L im Punkte (9), die Hilfsebene E in (13) und F in (14) schneidet, dessen horizontale Projektionen durch 9, 13 und 14 bestimmt sind. Ueberträgt man diese Punkte auf die betreffenden Hilfsebenen in die Seitenansicht und in die VPE, so ist die normale Stossfuge an der vorderen Flügel-seitenfläche durch $x_{III} 14, 13, 9$ und $x_{II} 14, 13, 9$ bestimmt. An der hinteren Flügel-seitenfläche verfährt man analog, indem man zunächst zu der durch x_1 gelegten Tangente eine parallele Berührungsgerade konstruirt und diese um ihre horizontale Projektion niederlegt. Auf Tafel 14 ist letzteres dadurch ausgeführt, dass man 2 Punkte derselben u und t umklappte. Die Schnittlinie der normalen Stossfläche und Lagerfläche L muss zu der horizontalen Spur der ersteren parallel, also zu der horizontalen Projektion der Tangente rechtwinklig sein, ist mithin durch 9, 10 in der HPE festgelegt. Durch den Punkt 10 erhält man nun auf der um die Höhe h_1 niedergelegten Lagerfuge L den Schnitt-

punkt (10) und zieht man von hier eine Normale zu (u) (t), so trifft diese die letztere in (y) und die Ebenen (E), (F), (G) in 15, bzw. 16, bzw. 17. Diese Punkte überträgt man in die H und VPE, sowie in die Seitenansicht und erhält hierdurch die normale Stossfuge an der hinteren Flügelseitenfläche.

3. Zur Bestimmung der normalen Stossfläche des oberen Flügeldeckquaders ist auf Tafel 14 dasselbe Verfahren wie ad 1 angegeben, doch ist hierbei die HPE um die Höhe h_1 verschoben gedacht, so dass sie mit der Lagerfläche L zusammenfällt.

Die Festlegung der normalen Stossfuge in der abgewickelten Seitenfläche (c) (b) (a) (e) bietet nach Obigem keine Schwierigkeit.

Die vertikalen Stossflächen sind wie unter Annahme 1 wieder radial anzuordnen und wo möglich durch die Punkte 5, 9 zu legen, wobei bemerkt sein mag, dass auf Tafel 14 der Fussquader durch Verschiebung der vertikalen Stossfläche eine grössere Tragfähigkeit erhält.

Die Austragung und Bearbeitung eines Flügeldeckquaders kann nun genau so erfolgen wie unter Annahme 1 angegeben ist, es kann aber auch folgender Weg eingeschlagen werden:

Man arbeitet den Deckquader aus einem abgeschrägten prismatischen Steinkörper, dessen Grundriss das kleinste um die horizontale Projektion des Quaders gelegte Rechteck und dessen Abschrägung in die Flügelabdeckungsfläche fällt. Nachdem man den Grundriss durch a_1 b_1 g_1 h_1 konstruiert hat, überträgt man diese Punkte in die Seitenansicht und errichtet in a_{III} b_{III} g_{III} h_{III} Senkrechte, welche die Flügeloberkante in c_{III} d_{III} f_{III} und e_{III} schneiden und wodurch die Höhen der Kanten des geraden Prisma's bestimmt sind. Hiernach lässt sich das Prisma konstruiren, indem man bei den ausgetragenen Flügeldeckquadern a b g $h = a_1$ b_1 g_1 h_1 und a $d = a_{III}$ d_{III} ; b $c = b_{III}$ c_{III} ; g $f = g_{III}$ f_{III} und h $e = h_{III}$ e_{III} macht. In dieses Prisma trägt man die Eckpunkte des Deckquaders und von den Kurven soviel Zwischenpunkte, z. B. 16, 17, 18, 19, ein, dass dieselben sich genau konstruiren lassen. Es ist dem ausgetragenen Flügeldeckquader Tafel 14 hinzuzufügen, dass die Stossfugen 1, 9; 3, 5; 4, 6 und 2, 10 keine gerade Linien sind, sie werden durch Zwischenpunkte festgelegt, welche in der Figur fortgelassen sind.

Für die Bearbeitung des Steines hat man sowohl die Schablone der Lagerfläche 7, 8, 10, 9 nothwendig, deren Form und wahre Grösse man direkt dem Grundriss entnimmt, als auch die Schablone G der Böschungsfläche des Quaders. Letztere bekommt man mit Hilfe der

abgeschrägten Fläche (c) (d) (e) (f) des prismatischen Steinkörpers. Die Seite (c) (d) dieses Rechteckes ist $= d c$ in der Figur des ausgetragenen Flügeldeckquaders (welche mit „Fig F“ bezeichnet sein möge), während (c) (f) dadurch gefunden wird, dass man in den Endpunkten einer Geraden $b g$ Normale errichtet und $b (c) = b c$, $g (f) = g f$ macht und (c) mit (f) verbindet. (In der betreffenden Figur auf Tafel 14 ist die Gerade (c) (f) des Platzes wegen gebrochen.) In dieses Rechteck (c) (d) (e) (f) — welches auf Tafel 14 in die abgewickelte Mantelfläche gelegt ist — trägt man die Eckpunkte und Kurvenpunkte der Schablone ein und zwar derart, dass man dieselben durch Hilfsgerade festlegt, welche der Seite $d c = (d) (c)$ parallel sind. Die Punkte 20—25 überträgt man zunächst auf (c) (f) bzw. (d) (e), wodurch man (20) ... (25) in Fig. F erhält und legt nun z. B. den Punkt (18) in der Fig. G dadurch fest, dass man $(d) (22) \text{ Fig. G} = d (22) \text{ Fig. F}$ und $(22) (18) \text{ Fig. G} = 22, 18 \text{ Fig. F}$ macht. Es ist dann durch (2) (18) (19) (4) (3) (17) (16) (1) (2) die wahre Grösse der Böschungsfläche des Quaders bestimmt. Mit Hilfe dieser Schablone und derjenigen der Lagerfläche 7, 8, 10, 9 werden auf dem abgeschrägten prismatischen Steinkörper die Grenzen des Quaders verzeichnet und hiernach die cylindrischen Flächen des Flügeldeckquaders bearbeitet. Das Richtscheit muss hierbei stets zu den senkrechten Geraden 5, 7 bzw. 12, 8 parallel geführt werden. An dieses Cylinderstück legt man nun die Schablonen der Seitenflächen A und D, verzeichnet mit denselben die normalen Stossfugen und bearbeitet nach letzteren die betreffenden Stossflächen.

2. Der concavcylindrische Flügel mit geneigter Vorderfläche.

Tafel 15.

Die Neigung der geböschten Vorderfläche betrage $\frac{1}{4}$ der Höhe. Die Lagerflächen werden bei der Wahl der Flügeldeckquadern horizontal angenommen, so dass die Lagerfugen Kreislinien sind, deren Mittelpunkte sich auf der Axe $m_1 n_1$ in den Punkten 1, 2, 3 ... befinden und welche in der VPE und in der Seitenansicht als horizontale Gerade erscheinen. Die vertikalen Stossflächen stellt man normal zur Leitlinie der Cylinderfläche, mithin sind die vertikalen Stossfugen Kurven, deren Krümmung um so grösser wird, je näher dieselben der Stirnmauer des Bauwerkes rücken. Die normale Stossfläche jedes Deckquaders möge wie vorhin sowohl zur Flügelabdeckungsfläche als auch zur vorderen Flügeloberkante rechtwinklig stehen, so dass die normalen Stossfugen in allen Projektionsebenen Kurven sind.

Nachdem man das Gerippe des Flügels nach S. 21 konstruiert und die Lagerflächen angeordnet hat, legt man die normalen Stossflächen fest und verfährt hierbei genau so wie ad 1. Soll z. B. eine derselben durch den Punkt x gelegt werden, so hat man in x_1 eine Tangente an die Kurve $a_1 b_1$ zu ziehen und um diese den Punkt x niederzulegen, indem man $(x) x_1 = x_{III} x_0$ macht; errichtet man in (x) zu $l_1 (x)$ eine Normale, so erhält man durch o_1 einen Punkt der horizontalen Spur der normalen Stossfläche und durch (z) und (v) Schnittpunkte mit den Lagerflächen, welche in ihrer horizontalen Projektion mit z_1 und v_1 bezeichnet sind. Durch $x_1 z_1 v_1 r_1$ ist die normale Stossfuge an der vorderen Seitenfläche in der HPE bestimmt, wodurch die übrigen Projektionen abgeleitet werden. Die normale Stossfuge an der hinteren Flügelseitenfläche wird nach demselben Verfahren wie ad 1 festgelegt und ebenso die vertikalen Stossflächen.

Die Austragung des Flügeldeckquaders ist auf Tafel 15 genau so ausgeführt wie auf Tafel 14, wobei zur Bestimmung einiger Zwischenpunkte der Kurven durch 9 und 4 je eine Ebene gelegt ist, welche der Stirnfläche $a b c d$ des prismatischen Steinkörpers parallel ist. Durch A ist das Fugenbrett für die Lagerfläche, durch B dasjenige für die Abdeckungsfläche und durch D dasjenige für die hintere Seitenfläche des Flügeldeckquaders angegeben. Die einzelnen Konstruktionen ersiehe aus der Figur.

Betreff der Bearbeitung ist ad 1 hinzuzufügen, dass die vordere Seitenfläche des Flügeldeckquaders nach der Richtung der Axe der schiefen Cylinderfläche bearbeitet werden muss, es ist daher die letztere auf den zu bearbeitenden Stein festzulegen. Zu diesem Zwecke bestimmt man in der HPE einige beliebige Erzeugende z. B. 11, 25 bzw. 13, 27, welche der Axe des Bauwerkes parallel sind und überträgt die Punkte 25 und 27 in den ausgetragenen Flügeldeckquader, so ist in letzterer durch 11, 25 resp. 13, 27 die Richtung der Erzeugenden bestimmt. Mittels der Schablonen A und B sind die Punkte 25 und 27 bzw. 11 und 13 auf Lager- resp. Abdeckungsfläche zu übertragen, es werden zuerst die Kanten 11, 25 und 13, 27 hergestellt und bei der Bearbeitung das Richtscheit an den Kurven 7, 9 und 3, 1 derart entlang geführt, dass dasselbe stets den Linien 11, 25 und 13, 27 parallel ist.

Sollte man bei der Bearbeitung des Deckquaders die parallelepipedische Form des ursprünglichen Steinträgers vorziehen, wie beim Fussquader G angenommen ist, so bestimmt man

zunächst die abgeschrägte Böschungsfläche $d_1 e_1 f_1$ und c_1 , welche man nach Obigem festlegt und welche die obere Fläche des Parallelopiped in den Geraden $k q$ schneidet. An das Parallelopiped wird nun die Fläche $d_1 k q c_1$ gearbeitet und verfährt dann wie vorhin.

3. Der concavkegelförmige Flügel.

Tafel 16.

Die Lagerfläche der Flügeldeckquader wird horizontal angeordnet, die vertikale Stossfläche sei durch eine Erzeugende gelegt, während die normale Stossfläche sowohl zur Flügelabdeckungsfläche als auch zur QE rechtwinklig stehen möge und es sei angenommen, dass das Gerippe des Flügels und die wahre Grösse der vorderen Flügelseitenfläche bereits nach IV § 2 S. 22 konstruiert sei. Zu letzterem sei bemerkt, dass die horizontale und vertikale Projektion der Oberkante des Fussquaders, Tafel 16, mittels einer Erzeugenden $v w$ ermittelt ist.

Man ordne zunächst die Lagerfugen an, welche in der Seitenansicht und der VPE horizontale Gerade sind, die die Schnittlinie des Bauwerkes und der vorderen Flügelseitenfläche in $r_{III} q_{III} \dots$ resp. $r_{II} q_{II} \dots$ schneiden, deren horizontale Projektionen durch $r_1 q_1 \dots$ festgelegt sind. In der HPE schneiden die Lagerflächen die Kegelflächen in Kreislinien, deren Mittelpunkt s_1 ; man hat daher nur von s_1 als Mittelpunkt mit dem Radius $s_1 r_1$ resp. $s_1 q_1$ durch $r_1 q_1 \dots$ Kreise zu konstruieren, welche die horizontale Projektion der Lagerfugen an der vorderen Flügelseitenfläche darstellen.

Die normalen Stossflächen werden genau so festgelegt, wie bei dem concavcylindrischen Flügel, der Annahme 1 S. 60, beschrieben ist. Die Projektionen der Richtungslinien einer normalen Stossfuge an der kegelförmigen Flügelseitenfläche sind mit $x z^I z^I$ bestimmt, es sind also die normalen Stossfugen Kurven, deren Projektionen nur in der Seitenansicht als Gerade erscheinen. Die vertikalen Stossflächen sind durch Erzeugende gelegt, mithin sind die vertikalen Stossfugen gerade Linien. Damit die Flügeldeckquader nicht zu gross werden, legt man die vertikalen Stossflächen wohl durch die Fusspunkte der normalen Stossfugen 5, 9 $\dots$, so ist die Projektion der vertikalen Stossfugen an der kegelförmigen Flügelseitenfläche von den Punkten 5, 9 $\dots$ nach s_1 bzw. s_{II} bzw. s_{III} gerichtet. Zur Vermeidung von spitzen Winkeln an der hinteren Flügelseitenfläche schneidet man von dem Deckquader parallel der VPE ein Stück ab, wie dieses in dem Flügeldeckquader, Tafel 16, durch die Fläche 8, 12, 14, 16 geschehen ist.

Bei der Austragung des Flügeldeckquaders verwendet man zur genauen Festlegung der Kurven und zur sicheren Darstellung der Schablonen Zwischenpunkte, welche man vortheilhaft in Ebenen annimmt, die einer Fläche des parallelopipedischen Steinkörpers, z. B. $a b c d$ parallel angewendet werden. Auf Tafel 16 ist nur eine Ebene 21, 23, 26, 28 gewählt worden, welche den Deckquader in den Punkten 17, 19, 22, 24 schneidet und bei welcher die Gerade 23, 26 in die Flügelabdeckungsfläche 2, 20, 27, 25 fällt.

In Betreff der Herstellung der Schablonen entnimmt man die kegelförmige Fläche des Flügeldeckquaders, die Schablone A, der abgewickelten vorderen Flügelseitenfläche, oder falls die letztere nicht ermittelt sein sollte, so hat man erstere genau so wie diese herzustellen, indem man nach Seite 24 verfährt. Die Schablone B stellt die Seitenansicht eines Deckquaders mit senkrechter Seitenfläche dar und wird aus der Seitenfläche $a d e h$ konstruirt, während die Schablone C, welche die Form der Lagerfläche des Steines zeigt, direkt dem Grundriss entnommen wird. Die Schablone D ist die abgewickelte hintere Seitenfläche des Deckquaders und wird ebenso wie Schablone A ermittelt. Die Schablone E stellt die vertikale Stossfläche dar, welche die Erzeugende 5, 7 enthält; sie wird aus dem Grundriss konstruirt mit Zuhilfenahme der bekannten Höhe der Steinschicht. Die Schablone H giebt die wahre Grösse der Abdeckungsfläche des Deckquaders; den senkrechten Abstand ihrer parallelen Geraden (1), (2); (19), (24) und (3), (4) entnimmt man der Seitenansicht und zwar der Flügeloberkante $b_{III} a_{III}$; es ist also die Gerade (19), (24) von der Geraden (1), (2) der Schablone H um die Strecke $1, 19 = 2, 24$ der Flügeloberkante $b_{III} a_{III}$ entfernt. Die Festlegung der Begrenzungspunkte dieser parallelen Geraden geschieht nun mit Hilfe einer Seitenfläche des Parallelopiped, so ist z. B. die Strecke (26), (24) resp. (20), (4) der Schablone H gleich der Entfernung 26, 24 resp. 20, 4 der horizontalen Projektion; ebenso werden die Punkte (3), (19) und (1) auf die Seitenfläche $a d e h$ festgelegt. Die Schablone K kann zur Herstellung beider vertikalen Stossflächen benutzt werden; sie wird mit Hilfe des Rechteckes 20, e, f, 27 direkt dem Grundriss entnommen.

Die Bearbeitung des Deckquaders geschieht nun folgendermassen:

Nachdem der parallelopipedische Steinkörper $a b c d e f g h$ hergestellt ist, verzeichnet man mit der Schablone B an den Seiten-

flächen die Geraden 20, 2 und 2, 30, sowie 27, 25 und 25, 29 und bearbeitet zunächst die Flügelabdeckungsfläche 2, 20, 27, 25 und die untere normale Stossfläche 2, 25, 29, 30.

Hierauf werden die Grenzen für die Lagerfläche und die Abdeckungsfläche mit Hilfe der Schablonen C, K und H angegeben und der Stein nach denselben bearbeitet. Hierbei ist zu bedenken, dass die hintere Seite des Deckquaders eine vertikale Cylinderfläche darstellt, so dass also das Richtscheit stets vertikal, also parallel der Kante 18, 16 geführt werden muss; während die vordere Seitenfläche kegelförmig herzustellen ist. Zur Bearbeitung dieser Fläche müssen nun einige Richtungslinien, Erzeugende der Kegelfläche, festgelegt sein, wie dieses durch die Geraden 3, 13 und 33, 9 geschehen ist. Neben 3 und 9 müssen nun die Punkte 13 und 33 mit Hilfe der Schablonen auf die betreffenden Flächen übertragen werden, dann werden die Geraden 3, 13 und 33, 9 eingearbeitet und erst hierauf die kegelförmige Fläche hergestellt. Bei der Bearbeitung der letzteren muss das Richtscheit derart den vorgezeichneten Grenzlinien entlang geführt werden, dass dasselbe die Strecken 13, 9 und 3, 33 gleichzeitig durchläuft. Schliesslich wird unter Zuhilfenahme der Schablonen D, E und A die obere normale Stossfläche 3, 4, 6, 8 und die Lagerfläche 5, 16, 14, 12 verzeichnet und hiernach bearbeitet.

§ 9.

Die convexen Böschungsflügel.

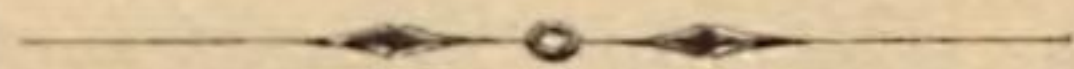
Tafel 17.

Wie bereits auf Seite 25 erwähnt, weicht die Anordnung der convexen Flügel sehr wenig von derjenigen der concaven Flügel ab, so dass ihre Konstruktionen unter Zuhilfenahme der Figuren 29 bis 31, Tafel 5, nach Obigem leicht zu ermitteln sind. Es sei daher nur der schwierigste Fall dieser Flügelanordnungen, der convexkegelförmige Flügel auf Tafel 17 gezeichnet. Für denselben sind dieselben Anordnungen gewählt, wie für den concavkegelförmigen Flügel; es gilt daher betreffs der Festlegung der Lager und Stossflächen auch dasselbe, wie für diese auf Seite 64 angegeben, während die Konstruktion des Gerippes nach S. 25 festgelegt wird.

Auch bei der Austragung des Flügeldeckquaders ist aus dem früheren Grunde eine vertikale Hilfsebene 23, 24, 26, 25 verwandt, welche den Deckquader in den Punkten 11, 12, 14, 13

schneidet. Die Schablonen A, B, C sind dieselben, wie S. 65 angegeben, während D und E die Fugenbretter für die untere resp. obere normale Stossfläche derselben sind. Die Breite derselben entnimmt man der QE der Seitenansicht, so dass z. B. (15), (2.) Fig. D = der Strecke 1, 9 in der Seitenansicht oder (17), (19) Fig. E = 3, 5 der QE ist, während die Lage der Eckpunkte durch den Grundriss des Flügeldeckquaders sich bestimmt. Bei der Schablone der Abdeckungsfläche H ist (2) (18) Fig. H = (2) (18) des ausgetragenen Deckquaders = 2, 4 der Seitenansicht. Das Fugenbrett K entspricht der vertikalen Stossfläche und ist bei bekannter Höhe mit Hilfe des Grundrisses zu konstruieren.

Die Bearbeitung des Deckquaders geschieht ebenso wie beim concavkegelförmigen Flügel. Es sei hier nur bemerkt, dass zur Herstellung der kegelförmigen Fläche die mit den Erzeugenden zusammenfallenden Geraden 5, 7; 13, 27 und 16, 9 zu benutzen sind.



III. Abschnitt.

Schiefe Brücken.

A. Allgemeines.

§ 1.

Einleitung.

Fig. 1.
Tafel 18.

Liegen die Axen zweier geraden Verkehrsstrassen in verschiedenen Höhen und schneiden sie sich in der horizontalen Projektion unter einem Winkel β , Fig. 1 Tafel 18, so muss bei einer massiven Ueberbrückung der untere Weg durch ein schiefes Gewölbe überführt werden, dessen Stirnflächen parallel der Axenrichtung der oberen Strasse zu nehmen sind. Zieht man zu dieser Stirnfläche eine Normale, so bildet dieselbe mit der Axe des zu überwölbenden Weges einen Winkel α , welcher das Complement des Schnittwinkels β ist, und der Schrägungs- oder Passagenwinkel genannt wird. Denselben Winkel bildet die Stirnfläche mit der Normalen zur Axe. Ist der Schnittwinkel β grösser als 80° , also der Schrägungswinkel kleiner wie 10° , so kann die Ueberführung wie ein gewöhnliches Tonnengewölbe ausgeführt werden, welches an der Stirnfläche nach dem Schnittwinkel β abgeschrägt wird. Fig. 2 Tafel 18. Diese Arbeit führt man am vorteilhaftesten nach Schliessung und Ausrüstung des Gewölbes aus. Wächst der Schrägungswinkel über 10° , so wird bei einem geraden Tonnengewölbe der Schnittwinkel β für den Steinschnitt zu spitz; alsdann sind die einzelnen Gewölbsteine derart anzuordnen, wie im Nachfolgenden besprochen werden soll.

Fig. 2.

Die Normalbreite b der zu überbrückenden Strasse ist stets gegeben, so dass die Spannweite an der Stirn durch $l = \frac{b}{\cos \alpha}$ bekannt ist.

Fig. 3.

In der Praxis verwendet man zu dem Gewölbe fast allgemein eine Cylinderfläche, deren Axe horizontal und deren Stirnflächen parallel angenommen werden. Diese Cylinderfläche wird meist derart gewählt, dass entweder der Stirnbogen, Fig. 3, oder der

Normalschnitt, Fig. 4, einen Halbkreis, resp. einen Theil desselben darstellt. Im ersteren Falle wird dann der Normalschnitt, im letzteren der Stirnbogen zur halben Ellipse, resp. zu einem Theile derselben. Bei sehr grossen Spannweiten und unter besonderen Belastungsverhältnissen kann die Drucklinie des Gewölbes soweit von den soeben angegebenen Leitlinien der Cylinderfläche abweichen, dass die Gewölbstärke an den Kämpfern verhältnissmässig stark werden muss. In diesem Falle wählt man zuweilen — meist aus Sparsamkeitsrücksichten — zur Leitlinie der Cylinderfläche eine Kurve, die sich der Drucklinie möglichst anschmiegt. Gewöhnlich konstruirt man dieselbe derart, dass sie sich im Normalschnitt aus mehreren Kreisbogenstücken zusammensetzt, also eine Korblinie bildet; es ist dann das Scheitelstück ein Kreissegment und die bei demselben vorkommenden Konstruktionen sind nach den später angegebenen Anordnungen auszuführen; während die den Kämpfern anliegenden Seitentheile des Gewölbes für jeden Fall besonders zu behandeln sind.

Fig. 4.

Wird der Stirnbogen als Halbkreis angenommen, Fig. 3, so ist sein Radius $r = \frac{b}{2 \cos \alpha}$, während die halbe Ellipse im Normal-

schnitt r zur Höhe und $\frac{b}{2}$ zur halben horizontalen Axe hat, mithin wird dieselbe eine überhöhte Ellipse. Ist der Normalschnitt des Gewölbes ein Halbkreis, Fig. 4, so ist $r = \frac{b}{2}$; und die halbe

Ellipse hat r zur Höhe und $\frac{b}{2 \cos \alpha}$ zur halben horizontalen Axe.

Graphisch lassen sich die betreffenden halben Ellipsen am einfachsten construiren, wie aus den Fig. 3 und 4 ersichtlich, indem man vertikale Hilfsebenen benutzt, welche parallel der Axe gelegt werden; es hat die Ellipse in diesen Schnittebenen dieselbe Höhe über der Grundebene, wie der betreffende Kreisbogen.

Nach Festlegung der Leitlinien der inneren Wölbungsfläche hat man in Rücksicht auf die Belastungsverhältnisse des Bauwerkes die Scheitel- und Kämpferstärke des Gewölbes zu bestimmen, hiernach lassen sich die Leitlinien der äusseren Wölbungsfläche leicht festlegen. Letztere wird nur roh bearbeitet.

Bei jedem Gewölbsteine hat man folgende Benennungen:

Zunächst unterscheidet man eine innere Wölbfläche $c d e f$ Fig. 5 und eine äussere $a b h g$. Diejenigen Flächen, auf denen

Fig. 5.

der Stein ruht, resp. belastet wird, heissen die Lagerflächen $a c f g$ und $b d e h$, während die Flächen, in denen 2 benachbarte Steine derselben Schicht zusammenstossen, die Stossflächen genannt werden $d c a b$ und $e f g h$. Die Schnittlinien der Lagerflächen mit den innern und äusseren Wölbflächen nennt man die innern und äusseren Lagerfugen $c f, d e$ und $a g, b h$. Die Schnittlinien der Stossflächen mit den Wölbflächen heissen die inneren und äusseren Stossfugen $c d, e f$ und $a b, g h$; während die Kanten, in welchen sich die Stoss- und Lagerflächen schneiden, die Seitenkanten heissen mögen $a c, b d, h e$ und $g f$.

§ 2.

Die wichtigsten Gewölbkonstruktionen.

Denkt man sich das Gewölbe durch vertikale Schnitte in eine Anzahl Gewölbstreifen zerlegt, Fig. 6, 7, 8, welche parallel der Stirnfläche sind, so lässt sich jeder Streifen wie ein gerades Gewölbe behandeln, bei welchem die Lagerflächen der einzelnen Steinschichten sowohl zur Stirnfläche als auch zur inneren Wölbung senkrecht stehen.

Nimmt man an einer beliebigen Stelle einen Gewölbstein an, welcher durch mehrere dieser Gewölbstreifen reicht, so entsteht eine gebrochene Lagerfuge, deren Projektionen $a_2 b_2 c_2 d_2 \dots$ Fig. 6 und $a_1 a_1^1 b_1 b_1^1 c_1 c_1^1 \dots$ Fig. 7, von welcher jedes einzelne Polygonstück $a_2 b_2 b_2 c_2 c_2 d_2 \dots$ Fig. 6, auf dem zugehörigen Bogen senkrecht steht. Die Lagerfläche besteht dann aus ebensoviel Theilflächen, welche in jedem einzelnen Gewölbstreifen dieselbe Neigung haben, wie das betreffende Polygonstück in der vertikalen Projection angiebt.

Nimmt man nun die Gewölbstreifen unendlich dünn an, so geht die gebrochene Lagerfuge in eine stetig gekrümmte Linie über, welche die unendlich dünnen Gewölbstreifen im Raume unter einem rechten Winkel schneidet und demnach eine Kurve bildet, welche sich wie eine Schraubenlinie um die Gewölbfläche windet. Die zu dieser Lagerfuge gehörige Lagerfläche wird dann windschief, denn letztere entsteht durch Fortbewegung einer Geraden an der Lagerfuge in stets paralleler Lage zur Stirnfläche und in senkrechter Stellung zur Wölbfläche. Die Lagerfuge bildet mit allen Erzeugenden der Cylinderfläche, also mit allen horizontalen Gewölbelementen verschiedene Winkel, welche man Fugenwinkel nennt. Diese Fugenwinkel sind bei der Erzeugenden im Scheitel am grössten und bei

der Kämpferlinie am kleinsten. Ein Gewölbe, welches nach dieser Art hergestellt wird, heisst ein schiefes Gewölbe mit veränderlichem Fugenwinkel oder auch, da es besonders in Frankreich zur Ausführung gelangte, das schiefe Gewölbe nach französischer Konstruktion.

Diese Konstruktion des Gewölbes entspricht den statischen Anforderungen am meisten, aber die Ausführung ist mit praktischen Schwierigkeiten verbunden, da die Wölbsteine verschiedene Dicke bekommen und verschiedene Gestalt erhalten müssen.

Um nun Erleichterung in der Bearbeitung der Steine zu erzielen, hat man die Lagerfugen auch derart angeordnet, dass dieselben sämtliche horizontale Gewölbelemente unter denselben Winkeln schneiden, so dass also die Fugenwinkel konstant sind. Dann trifft allerdings die Lagerfuge die einzelnen unendlich dünnen Gewölbelemente im Raume nicht mehr rechtwinklig, sondern unter einem Winkel, der bei den einzelnen Gewölbelementen um so mehr von 90° abweicht, als der angenommene konstante Winkel von dem betreffenden variablen Winkel differirt. Dieser konstante Winkel darf allerdings nur um ein bestimmtes Maass von dem grössten und kleinsten Fugenwinkel abweichen; daher kann ein Gewölbe mit konstantem Fugenwinkel nur in bestimmten Grenzen zur Ausführung gelangen. Diese Gewölbkonstruktion ist vielfach in England ausgeführt worden, heisst deshalb auch wohl die englische Konstruktion.

Man unterscheidet daher in Betreff der Ausführung der schiefen Gewölbe:

1. Schiefe Brücken mit veränderlichen Fugenwinkel (die französische Konstruktion).
2. Schiefe Brücken mit konstantem Fugenwinkel (die englische Konstruktion).

Ausser diesen beiden Anordnungen hat man in der Praxis noch mehrere Konstruktionen angewandt, bei welchen in der Bearbeitung der Steine eine Erleichterung angestrebt wurde, indem man auf die Einschaltung eines geraden Tonnengewölbes hinzielte. Diese Konstruktionen, welche sich theils den Gesetzen der Statik, theils den ästhetischen Gefühlen des Beschauers nur ungern fügen, mögen hier übergangen werden.

§ 3.

Das Gerippe des Gewölbes, die Abwicklung der Gewölbfäche und die Projektionen eines Punktes auf der Cylinderfläche.

Fig. 9,
10 und 11.
Tafel 18.

Nachdem man sich über die Leitlinie der inneren Gewölbfäche entschieden hat, bestimmt man nach den Belastungsverhältnissen die Gewölbstärke an dem Scheitel und den Kämpfern, wodurch das Gerippe des Brückengewölbes bestimmt ist. Fig. 9 und 10. In den meisten Fällen legt man auch noch durch die Axe einen vertikalen Schnitt. Fig. 11.

I. Der Längsschnitt des Gewölbes.

In demselben projiciren sich die Stirnbogen der äussern und innern Gewölbfächen als Kurven, welche dadurch erhalten werden, dass man auf dem Stirnbogen beliebig viele Punkte annimmt und diese auf ein in der Axenrichtung befindliches Koordinatensystem bezieht, welches z. B. in Fig. 10 und 9 für den Stirnbogen der äussern Gewölbfäche seinen Anfangspunkt in $m_1 m_2$ hat. In Fig. 9 erhält man die Höhe dieser Punkte über der Grundebene und in Fig. 10 die seitlichen Abstände. Man zieht daher von $b_1 c_1 \dots$ in Fig. 10 auf die verlängerte Gewölbaxe Normale und überträgt die Strecken $m_1 n_1, m_1 o_1 \dots$ in Fig. 11, wo die entsprechenden Entfernungen $m_3 n_3, m_3 o_3 \dots$ ihnen gleich sind; hierauf werden in $n_3 o_3 \dots$ Senkrechte errichtet von der Länge $b_0 b_2, c_0 c_2 \dots$ der Fig. 9, wodurch die Punkte $b_3 c_3 \dots$ gefunden werden. Die Verbindungslinie der letzteren stellt die gesuchte Kurve dar. Ebenso erhält man die Projektion des Stirnbogens an der inneren Gewölbfäche. Die letztere kann man auch analytisch folgendermaassen bestimmen:

1. Der Stirnbogen ist ein Halbkreis.

Verbindet man einen beliebigen Punkt des Stirnbogens z. B. p_2 Fig. 9 mit dem Kreismittelpunkte, so schliesst der Radius mit der horizontalen Projektionsebene den Winkel w ein; mithin ist $h = r \sin w$ und $m_1^1 n_1^1 = p_1 m_1^1 \sin \alpha = r \cos w \sin \alpha$. Bezeichnet man die Koordinaten des Punktes p_3 auf m_3^1 , Fig. 11, bezogen, mit x und y , so ist

$$x = m_1^1 n_1^1 = r \cos w \sin \alpha \quad (1)$$

$$y = h = r \sin w,$$

für $w = 0^\circ$, ist $x = r \sin \alpha$ und $y = 0$;

für $w = 90^\circ$, ist $x = 0$ und $y = r$.

Die Kurve ist eine Viertelellipse, welche man nach der gewöhnlichen Ellipsenkonstruktion verzeichnen kann. Die Axen der Ellipse sind r bzw. $r \sin \alpha$.

2. Der Stirnbogen ist eine halbe Ellipse und der Normalschnitt ein Halbkreis.

Legt man durch einen beliebigen Punkt des Stirnbogens, z. B. durch q_2 Fig. 4, die betreffende Erzeugende, so trifft sie einen beliebigen Normalschnitt in s . Bezeichnet man wiederum den Winkel, welchen der nach s gezogene Radius mit der horizontalen Projektionsebene bildet, mit w , so liegt der Punkt q_2 um $h = r \sin w$ über der Grundebene.

Fig. 4.

$$\text{Es ist } m_1^1 n_1^1 = r \cos w \operatorname{tg} \alpha.$$

Wählt man dasselbe Koordinatensystem wie in 1, so ist auch hier $x = m_1^1 n_1^1$, und $y = h$;

$$\text{also } x = r \cos w \operatorname{tg} \alpha.$$

$$y = r \sin w. \quad (2)$$

für $w = 0^\circ$, ist $x = r \operatorname{tg} \alpha$, und $y = 0$;

für $w = 90^\circ$, ist $x = 0$, und $y = r$.

Auch diese Kurve ist eine Viertelellipse, deren Axen r und $r \operatorname{tg} \alpha$.

3. Bildet der Stirnbogen ein Kreis- oder Ellipsensegment, so sind die Projektionen des Stirnbogens im Längsschnitt Ellipsentheile, für welche die Koordinaten in 1 bzw. 2 ebenfalls gültig sind.

II. Die Abwicklung der Gewölbfläche.

Behufs Eintheilung der Steine des Brückengewölbes ist die wahre Grösse der innern Gewölbfläche nothwendig. Man erhält letztere durch Abwicklung um eine der beiden Kämpferlinien. Zu diesem Zwecke muss man die Stirnbogen niederlegen, deren Endpunkte mit einander entsprechend verbunden werden. Zur Kontrolle vergleicht man dann den Abstand der beiden parallelen niedergelegten Kämpferlinien mit der Breite der abgewickelten Gewölbfläche. Man kann die Abwicklung graphisch ausführen oder die einzelnen Punkte des abgewickelten Stirnbogens und die Breite der abgewickelten Fläche durch Rechnung bestimmen. Die erste Methode hat den Vortheil, dass man mit derselben rasch zum Ziele gelangt, jedoch den Nachtheil, dass die einzelnen Fehler sich fortpflanzen, welche man dadurch begeht, dass ein kleines Bogenstück durch eine Sehne ersetzt wird. Die Festlegung der einzelnen Punkte

durch Koordinaten ist die sicherste Methode und mit Hilfe einiger Tabellen können die betreffenden Koordinaten auch bald ermittelt werden.

1. Das graphische Verfahren.

Fig. 12 u. 13.
Tafel 18.

Man theilt den Stirnbogen Fig. 12 in eine bestimmte Anzahl gleicher Theile $a_2 b_2 c_2 \dots$ von einer solchen Länge, dass unbeschadet für die Ausführung des Gewölbes das Bogenstück mit der zugehörigen Sehne vertauscht werden kann, ermittelt die horizontale Projektion dieser Theilpunkte $a_1 b_1 c_1 \dots$ Fig. 13, und legt die Punkte um eine Kämpferlinie z. B. $a_1 m_1$ nieder. Dieses geschieht, indem man von $b_1 c_1 \dots$ Normale zu der verlängerten Kämpferlinie $a_1 m_1$ zieht und von a_1 aus mit der Entfernung $a_2 b_2$ einen Kreisbogen schlägt, wodurch auf der betreffenden Normalen der niedergelegte Punkt b_3 bestimmt wird. Von hieraus schlägt man mit demselben Radius einen Kreisbogen, welcher auf der von c_1 aus gezogenen Normalen den Punkt c_3 festlegt, und fährt auf diese Weise fort. Die Verbindungslinie dieser Punkte ist der abgewinkelte Stirnbogen. Verbindet man die äusseren Punkte i_3 mit $a_3 (= a_1)$ durch eine Gerade, so muss der abgewinkelte Stirnbogen dieselbe in der Mitte schneiden und symmetrisch zu derselben liegen.

Auf dieselbe Weise könnte man auch den Stirnbogen an der hinteren Fläche niederlegen, jedoch ist es einfacher, hierzu Erzeugende zu benutzen, welche man durch die Theilpunkte legt, indem sie beim Niederlegen ihre wahre Länge behalten. Man zieht also durch die niedergelegten Punkte $b_3 c_3 \dots$ Fig. 13 Parallele zur Gewölbeaxe, resp. zu $a_1 m_1$, und giebt denselben die Länge des Gewölbes $a_1 m_1$. Der Abstand der niedergelegten äussersten Erzeugenden von der Kämpferlinie $a_1 m_1$ giebt die Breite s der abgewinkelten Gewölbfäche. Diese vergleicht man mit den auf analytischem Wege ermittelten Werthen, welche in Folgenden angegeben sind.

2. Das analytische Verfahren.

Zur Bestimmung der einzelnen Punkte des niedergelegten Stirnbogens ist es nothwendig, die Breite der abgewinkelten inneren Gewölbfäche in Rechnung zu ziehen; daher soll diese zunächst ermittelt werden, und zwar je nachdem der Normalschnitt des Gewölbes elliptisch oder kreisförmig ist.

a) Die Breite der abgewickelten inneren Gewölbfläche.

a) Der Stirnbogen des Brückengewölbes sei ein Halbkreis.

In diesem Falle ist der Normalschnitt eine halbe überhöhte Ellipse, und die niedergelegte Gewölbfläche hat eine Breite, welche der Länge des betreffenden Ellipsenbogens entspricht. Bezeichnet man die grosse vertikale Axe der Ellipse mit a , die kleine Axe mit b und nennt man die numerische Excentricität ε , so hat letztere den Werth:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{a^2}}.$$

Es ist die Bogenlänge der halben Ellipse

$$s = a \pi \left\{ 1 - \frac{1}{1} \left(\frac{1}{2} \right)^2 \varepsilon^2 - \frac{1}{3} \left(\frac{1 \cdot 3}{2 \cdot 4} \right)^2 \varepsilon^4 - \frac{1}{5} \left(\frac{1 \cdot 3 \cdot 5}{2 \cdot 4 \cdot 6} \right)^2 \varepsilon^6 - \dots \right\} \quad (3)$$

Schliesst man die Berechnung mit dem n Gliede incl., so ist der begangene Fehler

$$f_n < \frac{a \pi}{1 - \varepsilon^2} G_{n+1} \quad (4)$$

$$\text{wenn } G_{n+1} = \frac{1}{2n-1} \left[\frac{1 \cdot 3 \cdot 5 \dots (2n-3)}{2 \cdot 4 \cdot 6 \dots (2n-2)} \frac{(2n-1)}{2n} \varepsilon^n \right]^2.$$

Nun ist $a = r$, und $b = r \cos \alpha$, mithin $\varepsilon^2 = 1 - \cos^2 \alpha$.

Das fünfte Glied entspricht bereits einem so geringen Werthe, dass dasselbe für den vorliegenden Fall vernachlässigt werden kann, so dass die Gleich. 3 übergeht in:

$$s = r \pi \left\{ 1 - \frac{1}{1} \left(\frac{1}{2} \right)^2 (1 - \cos^2 \alpha) - \frac{1}{3} \left(\frac{1 \cdot 3}{2 \cdot 4} \right)^2 (1 - \cos^2 \alpha)^2 - \frac{1}{5} \left(\frac{1 \cdot 3 \cdot 5}{2 \cdot 4 \cdot 6} \right)^2 (1 - \cos^2 \alpha)^3 \right\} \quad (5)$$

Führt man diese Rechnung durch und setzt für die Potenzen von $\cos \alpha$ ein Vielfaches von α , also

$$\cos^2 \alpha = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos 2\alpha$$

$$\cos^4 \alpha = \frac{3}{8} + \frac{1}{2} \cos 2\alpha + \frac{1}{8} \cos 4\alpha \quad (6)$$

$$\cos^6 \alpha = \frac{5}{16} + \frac{5}{32} \cos 2\alpha + \frac{3}{16} \cos 4\alpha + \frac{1}{32} \cos 6\alpha,$$

so erhält man die Breite der abgewickelten Gewölbfläche

$$s = r \{ 2,67450 + 0,4951 \cos 2\alpha - 0,02998 \cos 4\alpha + 0,00192 \cos 6\alpha \} \quad (7)$$

Der hierbei begangene Fehler ist nach Einsetzung der betreffenden Werthe in Gleich. 4 kleiner als

$$f_n < r \{ 0,00916 - 0,01469 \cos 2\alpha + 0,00731 \cos 4\alpha + 0,0010 \cos 6\alpha + 0,00026 \cos 8\alpha \} \quad (8)$$

Setzt man $r = 1$, so ist für:

α	s	$f_n <$
10^0	3,11754	+ 0,00151
15^0	3,08832	— 0,00004
20^0	3,04761	— 0,00159
25^0	2,99637	— 0,00251
30^0	2,93504	— 0,00297
35^0	2,86508	— 0,00233
40^0	2,78762	— 0,00058

(9)

b) Der Stirnbogen bildet ein Kreissegment.

Fig. 14
Tafel 18.

Umfasst das Kreissegment den Winkel $2(90 - w)$ Fig. 14, so ist die Länge des betreffenden elliptischen Bogens

$$B = s - 2 s_1 \quad (10)$$

wenn

$$s_1 = r \{ A_0 \text{ arc } w + A_2 \sin 2w + A_4 \sin 4w + \dots \} \quad (11)$$

$$\text{hierbei ist: } A_0 = 1 - \frac{1}{1} \left(\frac{1}{2} \right)^2 \varepsilon^2 - \frac{1}{3} \left(\frac{1 \cdot 3}{2 \cdot 4} \right)^2 \varepsilon^4 - \dots$$

Substituirt man $\varepsilon^2 = 1 - \cos^2 \alpha$, so erhält man

$$A_0 = 0,70312 + 0,3437 \cos^2 \alpha - 0,0466 \cos^4 \alpha$$

und setzt man die Werthe der Gleichungen 6 ein, so wird

$$A_0 = 0,8575 + 0,1484 \cos 2\alpha - 0,0058 \cos 4\alpha. \quad (12)$$

Hierbei ist der begangene Fehler

$$f_n < 0,0029 - 0,0047 \cos 2\alpha + 0,0023 \cos 4\alpha - 0,0007 \cos 6\alpha + 0,00008 \cos 8\alpha. \quad (13)$$

Ferner ist:

$$\begin{aligned} A_2 &= \frac{1}{8} \varepsilon^2 + \frac{1}{4 \cdot 8} \varepsilon^4 + \dots \\ &= 0,1562 - 0,1872 \cos^2 \alpha + 0,0312 \cos^4 \alpha + \dots \\ &= 0,0742 - 0,0780 \cos 2\alpha + 0,0039 \cos 4\alpha \dots \end{aligned} \quad (14)$$

$$A_4 = \frac{1}{8 \cdot 8 \cdot 4} \varepsilon^4 + \dots = 0,00144 - 0,0019 \cos 2\alpha + 0,0004 \cos 4\alpha \dots \quad (15)$$

Aus Gleichung 15 ist ersichtlich, dass $A_4 \sin 4w$ der Gleichung 11 einem so geringen Werth entspricht, dass er vernach-

lässigt werden kann. Die Breite der abgewickelten Gewölbfläche $B = s - 2 s_1$ ist daher genügend genau genug wenn für s_1 angenommen wird:

$$s_1 = r \{ A_0 \arccos w + A_2 \sin 2w \} \quad (16)$$

Diese Werthe von s_1 sind auf je 5° des Winkels w , für den Schrägungswinkel

$$\alpha = 10^\circ, 15, 20, 25, 30, 35 \text{ und } 40^\circ$$

in den nachfolgenden Tabellen 2 bis 8 mitgetheilt.

c) Der Stirnbogen des Gewölbes ist eine halbe Ellipse und der rechtwinklige Schnitt ein Halbkreis.

In diesem Falle ist die Breite der abgewickelten Gewölbfläche:

$$s = r \pi. \quad (17)$$

d) Der Stirnbogen des Gewölbes ist ein Theil der in c angegebenen Ellipse.

Umfasst das Bogenstück der Ellipse den Winkel $2(90 - w)$, Fig. 15, so ist die Breite der abgewickelten Gewölbfläche

$$s = r \arccos 2(90 - w) \quad (18)$$

Fig. 15.

β) Die Abwicklung des Stirnbogens.

Der abgewickelte Stirnbogen soll mit Hilfe eines Koordinatensystems festgelegt werden, welches seinen Anfang in dem niedergelegten Scheitelpunkte e_3 Figur 13 hat und dessen Abscissenaxe in die Verlängerung der niedergelegten Erzeugenden des Scheitels fällt. Bezieht man diesen Anfangspunkt des Koordinatensystems rechtwinklig auf die Kämpferlinie $a_1 m_1$, so ist beim halbkreisförmigen Stirnbogen Fig. 13

Fig. 13.

$$a_1 e_0 = r \sin \alpha, \text{ und } e_0 e_3 = r \frac{s}{2} \quad (19)$$

wobei man s der Nr. 9 S. 76 entnimmt, während beim halbkreisförmigen Normalschnitt

$$a_1 e_0 = r \cos w \operatorname{tg} \alpha, \text{ und } e_0 e_3 = r \frac{\pi}{2} \quad (20)$$

sein muss.

Bildet die Gewölbfläche ein Kreis- oder elliptisches Segment, so sind diese Koordinaten des Punktes e_3 besonders zu ermitteln und von dem Winkel $2(90 - w)$ abhängig. Es sind dann die Gleichungen 21 bis 24 gültig.

Bezeichnet man die Koordinaten eines auf e_3 bezogenen Punktes des niedergelegten Stirnbogens mit x und y , so hat man je nach der Wahl der Leitlinie der Gewölbfläche verschiedene Werthe.

a) Der Stirnbogen des Brückengewölbes bildet einen Halbkreis.

Fig. 12 u. 13.
Tafel 18.

Nimmt man auf dem Stirnbogen einen beliebigen Punkt $g_1 g_2$ an, Fig. 12 und 13, so wird der Winkel, welchen der durch g_2 gezogene Radius mit der Grundebene bildet, mit w bezeichnet.

Alsdann ist in Fig. 13

$$g_1 e_1 = r \cos w, \text{ und } e_3 g_0 = g_1 e_1 \sin \alpha = x$$

mithin ist $x = r \cos w \sin \alpha$ (21)

während $y = r \left(\frac{s}{2} - s_1 \right)$ (22)

wobei s_1 dem Werthe der Gleichung 16 entspricht.

Bei $w = 0^\circ$, ist $x = r \sin \alpha$, und $y = \frac{s}{2}$

$w = 90^\circ$, ist $x = 0$, und $y = 0$

$w = 180^\circ$, ist $x = -r \sin \alpha$, und $y = -\frac{s}{2}$

Hieraus folgt, dass die Kurve symmetrisch zur Axe liegt.

b) Der Normalschnitt des Gewölbes ist halbkreisförmig.

Verbindet man einen beliebigen Punkt des Normalschnittes mit dem Kreismittelpunkte, so wird der Winkel, den dieser Radius mit der Horizontalebene einschliesst, w genannt. Dann wird nach Fig. 13

$$g_1 e_1 = \frac{r \cos w}{\cos \alpha} \text{ und } e_3 g_0 = g_1 e_1 \sin \alpha = x,$$

so ist: $x = r \cos w \operatorname{tg} \alpha$, (23)

während $y = r \operatorname{arc} (90 - w)$. (24)

Für $w = 0^\circ$, ist $x = r \operatorname{tg} \alpha$, und $y = \frac{r \pi}{2}$

$w = 90^\circ$, ist $x = 0$, und $y = 0$

$w = 180^\circ$, ist $x = r \operatorname{tg} \alpha$, und $y = -\frac{r \pi}{2}$

Die Werthe der Gleichungen 21 bis 24 sind auf je 5° des Winkels w für die Schrägungswinkel

$$\alpha = 10, 15, 20, 25, 30, 35 \text{ und } 40^\circ$$

in den Tabellen 2 bis 8 bezw. 11 bis 17 mitgetheilt, aber dort mit x_6 bezw. y_6 bezeichnet.

III. Die Projektionen eines Punktes auf der Gewölbfläche und das Niederlegen des Punktes.

Ist eine Projektion eines Punktes auf der Gewölbfläche gegeben, so erhält man die zweite Projektion desselben entweder mit Hilfe einer zur Stirnfläche parallelen Verticalebene, wie z. B. $p_1 p_2$ oder unter Zuhilfenahme einer Erzeugenden wie $q_1 q_2$. oder unter Benutzung beider, wie beispielsweise $v_1 v_2$, Fig. 12 und 13.

Das Niederlegen des Punktes geschieht analog der Abwicklung der Gewölbfläche, wie aus Fig. 13 ersichtlich ist, während von dem niedergelegten Punkte p_3 , q_3 oder v_3 die horizontalen und vertikalen Projektionen des betreffenden Punktes umgekehrt zu ermitteln sind. Diese letztgenannten Aufgaben kommen sehr oft vor, da die Anordnung der Gewölbsteine in der abgewickelten Gewölbfläche ausgeführt wird, wonach der Grundriss und die Ansicht der Brücke sich bestimmt.

B. Das schiefe Brückengewölbe mit veränderlichem Fugenwinkel.

§ 4.

Allgemeines.

Nach der in § 2 gegebenen Erklärung windet sich die Lagerfuge wie eine Schraubenlinie um die Gewölbfläche, sie schneidet sämtliche horizontalen Gewölbelemente unter verschiedenen Winkeln, aber dieselbe Erzeugende, dasselbe horizontale Gewölbelement wird von mehreren Lagerfugen unter demselben Winkel getroffen.

Die Lagerfläche entsteht durch eine Gerade, welche sich in senkrechter Stellung zur Wölbung und in paralleler Lage zur Stirnfläche an der Lagerfuge entlang bewegt. Da letztere sich schraubenartig um die Gewölbfläche windet, so wird die Lagerfläche windschief.

Die Stossflächen nimmt man bei einem Brückengewölbe mit veränderlichem Fugenwinkel gewöhnlich parallel zu den Stirn-

flächen, so dass die Stossfugen in ihrer vertikalen Projektion Bogentheile von der Form des Stirnbogens sind, in ihrer horizontalen Projektion als Gerade erscheinen.

Bei der Konstruktion des Gewölbes hat man zunächst das Gerippe desselben in Ansicht und Grundriss darzustellen und darauf die innere Mantelfläche nach § 3 niederzulegen, da man in dieser die Einteilung der Gewölbesteine vorzunehmen hat. Nachdem die Anzahl der Gewölbschichten am Stirnbogen festgestellt ist, hat man zunächst die Lagerfugen in den verschiedenen Projektionen und in der niedergelegten Gewölbläche zu konstruieren.

§ 5.

Die verschiedenen Methoden zur Festlegung der Lagerfugen.

Bei der Bestimmung der Lagerfugen ist es nicht nothwendig für sämtliche Gewölbschichten die Projektion der Kurven einzeln zu konstruieren, denn durch die Eigenschaft der Lagerfugen, dass dasselbe horizontale Gewölbelement von sämtlichen Lagerfugen unter gleichem Winkel geschnitten wird, kann man für jede Projektion der Kurve eine Schablone konstruieren, mittelst welcher sämtliche Kurven zu vergleichen sind. Diese Schablone wird an der Gewölbaxe oder einer Erzeugenden z. B. einer der beiden Kämpferlinien, derart verschoben, dass die Kurve durch den bestimmten Theilpunkt des Stirnbogens geht. Es kommt also darauf an, zunächst eine Lagerfuge in den verschiedenen Projektionen zu konstruieren, nach welcher die betreffenden Schablonen anzufertigen sind. Damit letztere für sämtliche Gewölbschichten verwendet werden kann, muss die zu wählende Normal-Lagerfuge durch den Scheitel des einen Stirnbogens gehen und über die Gewölblänge hinaus so weit konstruirt werden, dass sie die dem Kämpfer zunächst liegende Gewölbschicht in der Verlängerung noch trifft, damit bei der Verschiebung der Schablone die niedrigst gelegene Lagerfuge noch vollständig verzeichnet werden kann. Es ist selbstredend, dass die zur Herstellung der Schablone nothwendige Normal-lagerfuge so genau wie möglich konstruirt werden muss, da von derselben die Genauigkeit der gesamten Gewölbkonstruktion abhängt.

Man kann einzelne Punkte dieser Normallagerfuge mittelst Koordinaten festlegen oder auf graphischem Wege bestimmen. Die erste Methode ist die beste, die genaueste, da die einzelnen Zeichen-

fehler sich nicht fortpflanzen können, während diese bei der graphischen Konstruktion sich mehr und mehr vergrössern. Diese letzte Methode lässt sich bequemer ausführen und bietet bei sorgfältigem Zeichnen in untergeordneten Fällen auch genügende Sicherheit. Die Bestimmung der Lagerfugen durch Koordinaten verlangt oft weitläufige Berechnungen, welche allerdings durch Tabellenwerthe vermindert werden können. Beide Methoden seien in Folgendem besprochen.

§ 6.

Die Konstruktion der Lagerfugen auf graphischem Wege.

Man zerlegt das Gewölbe durch Vertikalebene parallel der Stirnflächen in einzelne Gewölbstreifen, welche in der vertikalen Projektion, je nachdem der Stirnbogen kreisförmig oder elliptisch angenommen ist, sich als Kreis- oder Ellipsentheile darstellen, während ihre horizontalen Projektionen durch gerade Linien begrenzt sein müssen. Zu diesen Gewölbstreifen steht die Lagerfläche rechtwinklig, mithin muss auch die vertikale Projektion der Lagerfuge zu den einzelnen Lagertheilen rechtwinklig sein.

Fig. 6 u. 8.
Tafel 18.

Soll nun z. B. bei a_2 in Fig. 6 und 8 eine Lagerfuge beginnen, so erhält man die vertikale Projektion derselben, wenn man von a_2 eine Normale zu dem zweiten Bogen zieht, von dem Schnittpunkt b_2 eine solche zum dritten Bogen u. s. fort. Ist der Stirnbogen kreisförmig, Fig. 6, so erhält man diese Normalen auf den einzelnen Gewölbstreifen einfach dadurch, dass man von a_2 nach dem Mittelpunkt des zweiten Kreisbogens zieht, wodurch man den Schnittpunkt b_2 erhält, dass man letztern mit dem Mittelpunkt des dritten Kreisbogens verbindet, wodurch c_2 gegeben wird; auf diese Weise fährt man dann fort. Ist der Stirnbogen elliptisch, Fig. 8, so erhält man die Normalen zu den verschiedenen Ellipsen, wenn man zunächst die Brennpunkte f_1 u. f_2 jeder Ellipse bestimmt und dieselben mit dem Punkte der Lagerfuge a_2 verbindet; halbirt man den Winkel $f_1 a_2 f_2$, so steht die Halbirungslinie normal zum Bogen. Es ist hierbei vortheilhaft, die Lagerfuge von dem Stirnbogen der hinteren Fläche beginnen zu lassen, denn durch die Halbirungslinie des Winkels $f_1 a_2 f_2$, Fig. 8, erhält man eine Normale, welche die nächst vordere Ellipse in einem Punkte trifft, in welchem jetzt wiederum eine Normale zu der zweiten Ellipse zu konstruiren wäre. Würde man bei dem elliptischen Bogen einen Punkt d_2 der Lagerfuge, Fig. 8, auf dem vorderen Stirnbogen annehmen und

ebenso verfahren wollen, wie bei dem kreisförmigen Stirnbogen, so hätte man von einem Punkte eine Normale zu einer Ellipse zu ziehen, eine Konstruktion, welche nicht so leicht auszuführen ist, als in einem bestimmten Punkte einer Ellipse zu letzterer eine Normale zu errichten.

Die zu den einzelnen Gewölbstreifen gehörende Lagerfuge wird eine gebrochene Linie darstellen, deren vertikale Projektion durch den Polygonzug $a_2 b_2 c_2 \dots$, Fig. 6 und 8 gegeben ist, während die horizontale Projektion durch $a_1 a_1^1, b_1 b_1^1, c_1 c_1^1 \dots$ Fig. 7 dargestellt wird.

Denkt man sich die Gewölbstreifen nun unendlich dünn, so wird die Lagerfuge sich schraubenartig um die Gewölbfläche winden und die gebrochene Linie wird in eine stetig gekrümmte übergehen, welche man in der Ansicht und im Grundriss dadurch erhält, dass man $a_2 b_2 c_2 \dots$ Fig. 6 und 8, bzw. $a_1 b_1 c_1 \dots$ Fig. 7 durch je einen gekrümmten Linienzug verbindet. Aus der horizontalen Projektion $a_1 b_1 c_1 \dots$ hat man die niedergelegte Lagerfuge in der abgewickelten Gewölbfläche zu konstruieren, indem man jeden einzelnen Punkt $a_2 b_2 c_2 \dots$ nach III in § 3 S. 79 bestimmt.

Fig. 16—18.
Tafel 18.

Nach § 5 ist es jedoch für die Herstellung der Schablone nothwendig die Scheitellagerfuge zu konstruieren, wie dieses in Fig. 16, 17 und 18 ausgeführt ist. Man legt zunächst die vertikale Projektion $e_2 \dots h_2 \dots k_2$ Fig. 16 fest, und ermittelt hieraus die horizontale Projektion $e_1 \dots h_1 \dots k_1$ Fig. 17.

Die Projektion der Lagerfuge im Längsschnitt erhält man ebenfalls durch Uebertragung der einzelnen Punkte, indem beispielsweise h_3 Fig. 18 dadurch festgelegt wird, dass $m_3 m_3^1$ Fig. 18 = $m_1 m_1^1$ Fig. 17, und $m_3^1 h_3$ Fig. 18 = $h_0 h_2$ Fig. 16. Aus der horizontalen Projektion erhält man in Fig. 17 die niedergelegte Lagerfuge $e_4 h_4 k_4 \dots$

Die auf diese Weise gefundene Scheitellagerfuge ist aber nur annähernd genau; sie nähert sich der wahren Konstruktion um so mehr, je dünner die Gewölbstreifen angenommen werden. Letztere müssen aber immer eine gewisse Stärke haben, um die Zeichenoperationen ausführen zu können. Bedenkt man nun noch ferner, dass gerade die Scheitellagerfuge, welche man zur Konstruktion der Schablone nothwendig hat, diejenige Kurve ist, welche sich am ungenauesten konstruieren lässt, da die Vertikalschnitte am Scheitel sehr nahe zusammenfallen, so ist es, falls eine grosse Genauigkeit verlangt wird, rathsamer, die einzelnen Projektionen der Scheitel-

lagerfuge durch Punkte zu bestimmen, welche unabhängig von einander mittelst Koordinaten festgelegt sind.

§ 7.

Die Festlegung der Projektionen der Lagerfuge mittelst Koordinaten.

Die Gleichungen der verschiedenen Projektionen der Lagerfuge sind natürlich abhängig von der Form der Gewölbfläche, je nachdem dieselbe im Normalschnitt elliptisch, kreisförmig oder aus mehreren krummen Linien zusammengesetzt ist.

1. Der Stirnbogen des Gewölbes ist kreisförmig und der Normalschnitt elliptisch.

Trifft eine Erzeugende, auf welcher ein zu bestimmender Punkt der Lagerfuge liegen soll, den Stirnbogen in einem Punkte P Fig. 19, und verbindet man letztern mit dem Kreismittelpunkte, so soll der Winkel, den dieser Radius mit der Horizontalen einschliesst, w genannt werden.

a) Die vertikale Projektion der Lagerfuge.

Denkt man sich bei A Fig. 19 den Anfangspunkt eines Koordinatensystems und soll bei P eine Lagerfuge beginnen, so sind die Koordinaten des Punktes P gegeben, denn es ist

Fig. 19.
Tafel 18.

$$x = r (1 - \cos w) \quad (25)$$

$$y = r \sin w. \quad (26)$$

Durch Differenzieren erhält man

$$dx = r \sin w dw, \text{ und } dy = r \cos w dw;$$

dividirt man beide Gleichungen, so erhält man für den Stirnbogen die Differentialgleichung

$$\frac{dx}{dy} = \frac{\sin w}{\cos w} = \operatorname{tg} w.$$

Da nun die vertikale Projektion der Lagerfuge rechtwinklig zu dem Stirnbogen steht, so erhält man aus der letzten Gleichung die Differentialgleichung für die orthogonale Trajektorie:

$$\frac{dy}{dx} = - \operatorname{tg} w.$$

Substituirt man den Werth von dy und setzt man

$$\operatorname{tg} w = \frac{\sin w}{\cos w}, \text{ so wird:}$$

$$dx = - \frac{dy}{\operatorname{tg} w} = - \frac{r \cos^2 w dw}{\sin w}.$$

Mithin wird:

$$\begin{aligned} x &= -r \int \frac{\cos^2 w}{\sin w} dw = -r \int \frac{(1 - \sin^2 w)}{\sin w} dw \\ &= -r \int \frac{dw}{\sin w} + r \int \sin w dw. \quad \text{Dadurch erhält man:} \\ x &= -r \log \operatorname{tg} \frac{w}{2} - r \cos w + C. \end{aligned}$$

Es ist $\operatorname{tg} \frac{w}{2} = \frac{1}{\cotg \frac{w}{2}}$, also $\log \operatorname{tg} \frac{w}{2} = -\log \cotg \frac{w}{2}$.

Setzt man diesen Werth ein, so wird

$$x = r \log \cotg \frac{w}{2} - r \cos w + C.$$

Um die Konstante C zu bestimmen, setzt man $w = 90^\circ$, so wird, wie aus der Figur 19 ersichtlich, $x = r$, und daher nach voriger Gleichung auch $C = r$, so dass demnach

$$x = r \log \cotg \frac{w}{2} - r \cos w + r.$$

Verlegt man nun den Anfangspunkt des Koordinatensystems nach dem Mittelpunkt des Stirnbogens, so fällt das letzte Glied der vorigen Gleichung fort. Bezeichnet man nunmehr die Koordinaten mit x_1 und y_1 , so wird die Abscisse der vertikalen Projektion der Lagerfuge

$$x_1 = r (\log \cotg \frac{w}{2} - \cos w). \quad (27)$$

Für die Berechnung der verschiedenen x_1 Werthe ist es vortheilhaft, die Brigge'schen Logarithmen einzuführen; es ist dann $\log \cotg \frac{w}{2}$ durch $M = \frac{1}{\log_{\text{nat.}} 10} = 0,43429 \dots$, dem Modulus des Brigg'schen Logarithmensystems zu dividiren, so dass

$$x_1 = r \left(\frac{\log \cotg \frac{w}{2}}{M} - \cos w \right). \quad (28)$$

Die Ordinate bleibt nach Gleichung 26

$$y_1 = r \sin w. \quad (29)$$

$$\begin{aligned} \text{Für } w &= 0^\circ, \text{ wird } x_1 = +\infty \text{ und } y_1 = 0 \\ \text{„ } w &= 90^\circ, \text{ „ } x_1 = 0 \text{ „ } y_1 = r \\ \text{„ } w &= 180^\circ, \text{ „ } x_1 = -\infty \text{ „ } y_1 = 0. \end{aligned}$$

Hieraus folgt, dass die Kurve zu dem im Kreismittelpunkte errichteten Senkrechten symmetrisch liegt, im Scheitel einen Rückkehrpunkt besitzt und die Axe zu Asymptoten hat. Fig. 20.

Fig. 20.
Tafel 18.

b) Die horizontale Projektion der Lagerfuge.

Es soll ein beliebiger Punkt der horizontalen Projektion der Scheitellagerfuge z. B. q_2 Fig. 21 bestimmt werden.

Fig. 21.
Tafel 18.

Würde man die Scheitellagerfuge vom Stirnbogen aus festlegen, so ist nach der Figur

$$a = r \cos w, \text{ und } L = \frac{l}{\sin \alpha},$$

wobei $l = x_1 + a = r \frac{\log \cotg \frac{w}{2}}{M}$, wenn man den Werth von x_1 aus Gleichung 28 einsetzt.

Hierbei ist L parallel der Axe zu verzeichnen. Es ist aber vortheilhafter, auch die horizontale Projektion der Lagerfuge unabhängig vom Stirnbogen zu konstruiren und dieselbe mittels rechtwinkliger Koordinaten festzulegen. Der Anfangspunkt dieses Koordinatensystems sei nach dem Mittelpunkt des Stirnbogens m_2 verlegt; die Abscissenaxe möge mit der horizontalen Projektion der Gewölbaxe zusammenfallen. Die Koordinaten für den Punkt q_2 seien mit x_2 und y_2 bezeichnet. Es ist dann

$$x_2 = L - a \sin \alpha \quad \text{und} \quad y_2 = a \cos \alpha.$$

Substituirt man die Werthe von L und a , so wird

$$x_2 = r \left[\frac{\log \cotg \frac{w}{2}}{M \sin \alpha} - \cos w \sin \alpha \right] \quad (30)$$

$$\text{und } y_2 = r \cos w \cos \alpha. \quad (31)$$

Für $w = 0^\circ$, ist $x_2 = +\infty$ und $y_2 = r \cos \alpha$.

„ $w = 90^\circ$, „ $x_2 = 0$ „ $y_2 = 0$

„ $w = 180^\circ$, „ $x_2 = -\infty$ „ $y_2 = -r \cos \alpha$.

Es sind also die Koordinaten im Scheitel gleich Null. Die Kurve liegt symmetrisch zur Gewölbaxe und hat die beiden Kämpferlinien zu Asymptoten. Fig. 22.

Fig. 22.

c) Die Projektion der Lagerfuge im Längsschnitt.

Legt man einen Vertikalschnitt durch die Gewölbaxe und behält dasselbe Koordinatensystem wie vorhin bei, so wird

$$x_3 = x_2 \quad (32)$$

$$\text{und } y_3 = y_1, \quad (33)$$

wenn x_3 und y_3 die Koordinaten irgend eines Punktes q_3 Fig. 21 in diesem Schnitte bezeichnen.

Für $w = 0^\circ$, ist $x_3 = +\infty$ und $y_3 = 0$.

„ $w = 90^\circ$, ist $x_3 = 0$ und $y_3 = r$.

„ $w = 180^\circ$, ist $x_3 = -\infty$ und $y_3 = 0$.

Die Kurve liegt zu der durch den Scheitel gehenden Senkrechten symmetrisch und hat die Axe zu Asymptoten. Fig. 23.

d) Die niedergelegte Lagerfuge.

Das rechtwinklige Koordinatensystem, auf welches wir die niedergelegte Lagerfuge beziehen wollen, soll seinen Anfangspunkt in dem niedergelegten Scheitelpunkte des Stirnbogens haben; seine Abscissenaxe sei die niedergelegte Erzeugende des Scheitels. Letztere hat daher an der Kämpferlinie den Abstand $s/2$ der Gleich. 7 S. 75, während der Anfangspunkt des Koordinatensystems auf einer Geraden liegt, welche um die Strecke $r \sin \alpha$ in der verlängerten Kämpferlinie rechtwinklig zu letzterer errichtet wird; vergleiche Gleich. 19 S. 77. Bezeichnet man die Koordinaten eines Punktes q_4 der niedergelegten Lagerfuge mit x_4 und y_4 , so ist nach der Fig. 21

$$x_4 = x_2 \quad (34)$$

$$y_4 = \frac{s}{2} - s_1, \quad (35)$$

wenn s die Breite der abgewickelten Gewölbfläche bedeutet, die in § 3 unter No. 9. S. 76 angegeben ist und s_1 der Länge des elliptischen Bogens entspricht, welcher dem Winkel w zugehört und nach Gleichung 11 den Werth hat

$$s_1 = r \{ A_0 w + A_2 \sin 2w + A_4 \sin 4w \dots \}.$$

Das dritte Glied „ $A_4 \sin 4w$ “ kann hier bereits vernachlässigt werden, denn dasselbe erreicht sein Maximum bei $w = 22^\circ 30'$ und $\alpha = 10^\circ$ zu einem Werthe von 0,0007.

In obiger Formel bedeutet nach Gleichung 12

$$A_0 = 0,8575 + 0,1484 \cos 2\alpha - 0,0058 \cos 4\alpha,$$

wobei der begangene Fehler nach Gleichung 13 sein Maximum bei $\alpha = 10^\circ$ erlangt und kleiner ist als 0,00019.

Nach Gleichung 14 ist

$$A_2 = 0,0742 - 0,0780 \cos 2\alpha + 0,0039 \cos 4\alpha.$$

Für $w = 0^\circ$, ist $x_4 = +\infty$ und $y_4 = \frac{s}{2}$

„ $w = 90^\circ$, „ $x_4 = 0$ „ $y_4 = 0$

„ $w = 180^\circ$, „ $x_4 = -\infty$ „ $y_4 = -\frac{s}{2}$.

Die Kurve schneidet die niedergelegte Erzeugende des Scheitels, ist zu derselben symmetrisch und hat die Kämpferlinien zu Asymptoten. Fig. 24.

Fig. 24.
Tafel 18.

Zur Erleichterung der Festlegung der abgewickelten Gewölbfäche und des Längsschnittes, sowie zur Konstruktion der Scheitellagerfuge in den verschiedenen Projektionen sind nachstehende Tabellen entworfen. Dieselben geben für den Halbmesser $r = 1$ die Werthe der Gleichungen 28 bis 35 an und zwar für die Schrägungswinkel

$$\alpha = 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ, 35^\circ \text{ und } 40^\circ.$$

Die Gleich. 28 und 29, welche die Koordinaten der vertikalen Projektion der Lagerfuge x_1 und y_1 angeben, sind unabhängig von dem Schrägungswinkel α und daher hat die Tabelle 1 für sämtliche Brückengewölbe mit kreisförmigem Stirnbogen Gültigkeit. Ist der gegebene Schrägungswinkel α nicht unter den oben angegebenen enthalten, so müssen die Werthe x_2 , y_2 und y_4 besonders berechnet werden und dann kann die Tabelle des nächstliegenden α Werthes nur einen Anhalt zur Kontrollberechnung geben. Die Berechnung der Tabellen 1 und 5 ist ausführlich angegeben, während die Tabellen 2, 3, 4, 6, 7, 8 ebenso ermittelt sind, wie für Tabelle 5 S. 90 angegeben ist. Die Tabelle 9 enthält die Werthe, welche zur Berechnung der Tabellen 2 bis 8 nothwendig waren.

Die in den nachfolgenden Tabellen angegebenen Koordinaten entsprechen also folgenden Werthen:

Der Stirnbogen ist ein Halbkreis.

Nach den Gleich. 28 bis 35 (sowie 44, 45 und 48, 49) muss sein:

$$x_1 = r \left(\frac{\log \cotg \frac{w}{2}}{M} - \cos w \right); \quad y_1 = r \sin w$$

$$x_2 = r \left(\frac{\log \cotg \frac{w}{2}}{M \sin \alpha} - \cos w \sin \alpha \right); \quad y_2 = r \cos w \cos \alpha$$

$$x_3 = x_2; \quad y_3 = y_1$$

$$x_4 = x_2; \quad y_4 = r \left(\frac{s}{2} - s_1 \right)$$

$$x_5 = r \cos w \sin \alpha; \quad y_5 = y_1$$

$$x_6 = x_5; \quad y_6 = y_4$$

$$r = 1 \text{ und } \log M = 9.63778 - 10.$$

Stirnbogen = Halbkreis.		Tabelle 1.						
w	$\frac{w}{2}$	$\log \cotg \frac{w}{2}$	$\log \left(\log \cotg \frac{w}{2} \right)$	$\log \left(\log \cotg \frac{w}{2} \right) - \log M$	$\frac{\log \cotg \frac{w}{2}}{M}$			
0 ⁰	0				∞			
5	2° 30'	1.35 991	0.13 351	0.49 573	3,13 135			
10	5	1.05 805	0.02 450	0.38 672	2,43 630			
15	7 30	0.88 057	0.94 476—1	0.30 698	2,02 759			
20	10	0.75 368	0.87 718—1	0.23 940	1,73 540			
25	12 30	0.65 424	0.81 574—1	0.17 796	1,50 649			
30	15	0.57 195	0.75 736—1	0.11 958	1,31 700			
35	17 30	0.50 128	0.70 008—1	0.06 230	1,15 423			
40	20	0.43 893	0.64 240—1	0.00 462	1,01 070			
45	22 30	0.38 278	0.58 295—1	0.94 517—1	0,88 140			
50	25	0.33 133	0.52 026—1	0.88 248—1	0,76 292			
55	27 30	0.28 352	0.45 258—1	0.81 480—1	0,65 283			
60	30	0.23 856	0.37 759—1	0.73 981—1	0,54 930			
65	32 30	0.19 581	0.29 183—1	0.65 405—1	0,45 087			
70	35	0.15 477	0.18 969—1	0.55 191—1	0,35 638			
75	37 30	0.11 502	0.06 078—1	0.42 300—1	0,26 485			
80	40	0.07 619	0.88 190—2	0.24 412—1	0,17 544			
85	42 30	0.03 795	0.57 921—2	0.94 143—2	0,08 738			
90 ⁰	45	0.00 000	0.00 000	0.00 000	0,00 000			

w	$\log \cos w$	$\cos w$	$\frac{\log \cotg \frac{w}{2}}{M} - \cos w$	$\sin w$	arc w	$\log \text{arc } w$	2 w	$\log \sin 2 w$
0 ⁰	0	1,0	∞	0,0	0,0		0 ⁰	
5	9.99 834	0,99 619	2,13 516	0,0872	0,08 726	0.94 082—2	10	9.24 039
10	9.99 335	0,98 481	1,45 149	0,1736	0,17 453	0.24 187—1	20	9.53 405
15	9.98 494	0,96 592	1,06 167	0,2588	0,26 179	0.41 795—1	30	9.69 897
20	9.97 299	0,93 971	0,79 569	0,3420	0,34 907	0.54 291—1	40	9.80 807
25	9.95 728	0,90 632	0,60 017	0,4226	0,43 633	0.63 982—1	50	9.88 425
30	9.93 753	0,86 603	0,45 097	0,5000	0,52 360	0.71 900—1	60	9.93 753
35	9.91 336	0,81 915	0,33 508	0,5736	0,61 087	0.78 595—1	70	9.97 299
40	9.88 425	0,76 604	0,24 466	0,6428	0,69 813	0.84 394—1	80	9.99 335
45	9.84 949	0,70 712	0,17 428	0,7071	0,78 540	0.89 509—1	90	10.00 000
50	9.80 807	0,64 280	0,12 012	0,7660	0,87 266	0.94 085—1	100	9.99 335
55	9.75 859	0,57 358	0,07 925	0,8192	0,95 993	0.98 224—1	110	9.97 299
60	9.69 897	0,50 000	0,04 930	0,8660	1,04 720	0.02 003	120	9.93 753
65	9.62 595	0,42 262	0,02 825	0,9063	1,13 446	0.05 480	130	9.88 425
70	9.53 405	0,34 202	0,01 436	0,9397	1,22 173	0.08 696	140	9.80 807
75	9.41 300	0,25 883	0,00 602	0,9659	1,30 900	0.11 694	150	9.69 897
80	9.23 967	0,17 365	0,00 179	0,9848	1,39 626	0.14 498	160	9.53 405
85	8.94 030	0,08 716	0,00 022	0,9962	1,48 353	0.17 129	170	9.24 039
90 ⁰	∞	0,00 000	0,00 000	1,0000	1,57 080	0.19 612	180	

W	Auszug aus Tabelle 1		Tabelle 2 $\alpha = 10^0$				
	x_1	y_1	x_2	x_5	y_2	y_4	s_1
0 ⁰	∞	0,0	∞	0,1736	0,9848	1,5588	0,0
5	2,1352	0,0872	17,8595	0,1730	0,9810	1,4715	0,0873
10	1,4515	0,1736	13,8480	0,1710	0,9698	1,3843	0,1745
15	1,0617	0,2588	11,4983	0,1677	0,9512	1,2970	0,2618
20	0,7957	0,3420	9,8307	0,1632	0,9254	1,1998	0,3590
25	0,6002	0,4226	8,5180	0,1574	0,8722	1,1227	0,4361
30	0,4510	0,5000	7,4338	0,1504	0,8529	1,0357	0,5231
35	0,3351	0,5736	6,5049	0,1422	0,8067	0,9488	0,6100
40	0,2447	0,6428	5,6874	0,1330	0,7544	0,8620	0,6968
45	0,1743	0,7071	4,9530	0,1228	0,6964	0,7753	0,7835
50	0,1201	0,7660	4,2819	0,1116	0,6330	0,6888	0,8700
55	0,0793	0,8192	3,6599	0,0996	0,5648	0,6023	0,9565
60	0,0493	0,8660	3,0765	0,0868	0,4924	0,5159	1,0429
65	0,0283	0,9063	2,5231	0,0734	0,4162	0,4297	1,1291
70	0,0144	0,9397	1,9929	0,0594	0,3368	0,3427	1,2161
75	0,0060	0,9659	1,4803	0,0449	0,2549	0,2575	1,3013
80	0,0018	0,9848	0,9801	0,0302	0,1710	0,1715	1,3873
85	0,0002	0,9962	0,4881	0,0151	0,0858	0,0857	1,4731
90	0,0000	1,0000	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5590

W	Tabelle 3 $\alpha = 15^0$					Tabelle 4 $\alpha = 20^0$				
	x_2	x_5	y_2	y_4	s_1	x_2	x_5	y_2	y_4	s_1
0 ⁰	∞	0,2588	0,9659	1,5442	0,0	∞	0,3420	0,9397	1,5238	0,0
5	11,8260	0,2578	0,9622	1,4549	0,0893	8,8148	0,3407	0,9361	1,4365	0,0873
10	9,1581	0,2549	0,9515	1,3697	0,1745	6,7864	0,3368	0,9254	1,3494	0,1744
15	7,5840	0,2500	0,9330	1,2825	0,2617	5,5979	0,3304	0,9077	1,2623	0,2615
20	6,4618	0,2432	0,9078	1,1955	0,3487	4,7526	0,3214	0,8830	1,1756	0,3482
25	5,8603	0,2346	0,8754	1,1086	0,4356	4,0947	0,3100	0,8517	1,0891	0,4347
30	4,8643	0,2241	0,8365	1,0219	0,5223	3,5544	0,2962	8,8138	1,0029	0,5209
35	4,2447	0,2120	0,7912	0,9355	0,6087	3,0946	0,2802	0,7697	0,9171	0,6067
40	3,7077	0,1983	0,7379	0,8493	0,6949	2,6258	0,2620	0,7198	0,8318	0,6920
45	3,2224	0,1830	0,6830	0,7634	0,7808	2,3352	0,2418	0,6645	0,7469	0,7769
50	2,7813	0,1664	0,6209	0,6757	0,8685	2,0208	0,2198	0,6040	0,6625	0,8613
55	2,3760	0,1484	0,5540	0,5923	0,9519	1,7125	0,1962	0,5390	0,5785	0,9453
60	1,9929	0,1294	0,4830	0,5071	1,0371	1,4350	0,1710	0,4698	0,4949	1,0289
65	1,6326	0,1094	0,4082	0,4221	1,1221	1,1739	0,1445	0,3971	0,4120	1,1118
70	1,2884	0,0885	0,3304	0,3375	1,2067	0,9250	0,1170	0,3214	0,3289	1,1949
75	0,9563	0,0670	0,2500	0,2549	1,2913	0,6859	0,0885	0,2432	0,2463	1,2775
80	0,6329	0,0449	0,1677	0,1685	1,3757	0,4535	0,0594	0,1632	0,1643	1,3595
85	0,3150	0,0226	0,0842	0,0842	1,4600	0,2257	0,0298	0,0819	0,0820	1,4418
90	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5443	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5240

x_1 und y_1 gelten für sämtliche α Werthe

$x_3 = x_2$; $x_4 = x_2$; $x_6 = x_5$; $y_3 = y_1$; $y_5 = y_1$; $y_6 = y_4$.

Tabelle 5.

$\alpha = 25^0$

w	$\log(\log \cotg \frac{w}{2})$ — $\log M$ — $\log \sin \alpha$	$\log \cotg \frac{w}{2}$ — $M \sin \alpha$	$\log \cos w$ + $\log \sin \alpha$	$\cos w \sin \alpha$	$\log \cotg \frac{w}{2}$ — $M \sin \alpha$ — $\cos w \sin \alpha$	$\log \cos w$ + $\log \cos \alpha$	$\cos w \sin \alpha$
0 ⁰	∞	∞	9.62 595	0,4226	∞	9.95 728	0,9063
5	0.86 978	7,4094	9.62 429	0,4210	6,9884	9.95 562	0,9029
10	0.76 077	5,7646	9.61 930	0,4162	5,3484	9.95 063	0,8925
15	0.68 103	4,7977	9.61 089	0,4082	4,3895	9.94 222	0,8754
20	0.61 345	4,1063	9.59 894	0,3971	3,7092	9.93 027	0,8517
25	0.55 201	3,5646	9.58 323	0,3830	3,1816	9.91 456	0,8214
30	0.49 363	3,1163	9.56 348	0,3660	2,7503	9.89 481	0,7849
35	0.43 635	2,7312	9.53 931	0,3462	2,3850	9.87 064	0,7424
40	0.37 867	2,3915	9.51 010	0,3237	2,0678	9.84 153	0,6943
45	0.31 922	2,0855	9.47 544	0,2989	1,7866	9.80 677	0,6409
50	0.25 653	1,8052	9.43 402	0,2717	1,5335	9.76 535	0,5826
55	0.18 885	1,5446	9.38 454	0,2419	1,3027	9.71 587	0,5197
60	0.11 386	1,2997	9.32 492	0,2113	1,0884	9.65 625	0,4532
65	0.02 810	1,0668	9.25 190	0,1786	0,8882	9.58 323	0,3830
70	0.92 696-1	0,8452	9.16 000	0,1445	0,7007	9.49 133	0,3100
75	0.79 705-1	0,6267	9.03 895	0,1094	0,5173	9.37 028	0,2346
80	0.61 917-1	0,4161	8.86 562	0,0734	0,3427	9.29 695	0,1981
85	0.31 548-1	0,2068	8.56 625	0,0368	0,1700	8.89 758	0,0790
90	0.00 000	0,0		0,0	0,0		

$\alpha = 25^0$

w	$\log A_0$ + $\log \text{arc } w$	$A_0 w$	$\log A_2$ + $\log \sin 2 w$	$A_2 \sin 2 w$	s_1	$\frac{s}{2} = 1,4982$ $\frac{s}{2} - s_1$
0 ⁰	∞		∞	0,0		1,4982
5	0.92 037—2	0,0833	0.60 775—3	0,0041	0,0874	1,4108
10	0.22 142—1	0,1665	0.90 141—3	0,0080	0,1745	1,3237
15	0.39 750—1	0,2497	0.06 633—2	0,0117	0,2614	1,2368
20	0.52 246—1	0,3330	0.17 543—2	0,0150	0,3480	1,1502
25	0.61 937—1	0,4163	0.25 161—2	0,0179	0,4342	1,0660
30	0.69 855—1	0,4995	0.30 489—2	0,0202	0,5197	0,9785
35	0.76 550—1	0,5828	0.34 035—2	0,0219	0,6047	0,8935
40	0.82 349—1	0,6660	0.36 071—2	0,0229	0,6896	0,8086
45	0.87 464—1	0,7493	0.36 736—2	0,0233	0,7726	0,7256
50	0.92 040—1	0,8325	0.36 071—2	0,0229	0,8561	0,6421
55	0.96 179—1	0,9158	0.34 035—2	0,0219	0,9377	0,5605
60	0.99 958—1	0,9990	0.30 489—2	0,0202	1,0192	0,4790
65	0.03 435	1,0823	0.25 161—2	0,0179	1,1002	0,3980
70	0.06 651	1,1655	0.17 543—2	0,0150	1,1805	0,3177
75	0.09 649	1,2488	0.06 633—2	0,0117	1,2605	0,2377
80	0.12 453	1,3321	0.90 141—3	0,0080	1,3401	0,1581
85	0.15 084	1,4153	0.60 775—3	0,0041	1,4194	0,0788
90	0.17 567	1,4985	0,0	0,0000	1,4985	0,0000

W	Tabelle 5					Tabelle 6				
	$\alpha = 25^0$					$\alpha = 30^0$				
	X ₂	X ₅	Y ₂	Y ₄	S ₁	X ₂	X ₅	Y ₂	Y ₄	S ₁
0 ⁰	∞	0,4226	0,9063	1,4982	0,0	∞	0,5000	0,8660	1,4675	0,0
5	6,9884	0,4210	0,9029	1,4108	0,0874	5,7646	0,4981	0,8627	1,3801	0,0874
10	5,3484	0,4162	0,8925	1,3237	0,1745	4,3801	0,4924	0,8528	1,2930	0,1745
15	4,3895	0,4082	0,8754	1,2368	0,2614	3,5722	0,4830	0,8365	1,2062	0,2613
20	3,7092	0,3971	0,8517	1,1502	0,3480	3,0010	0,4698	0,8138	1,1200	0,3475
25	3,1816	0,3830	0,8214	1,0660	0,4342	2,5599	0,4531	0,7849	1,0343	0,4332
30	2,7503	0,3660	0,7849	0,9785	0,5197	2,2010	0,4330	0,7500	0,9495	0,5180
35	2,3850	0,3462	0,7424	0,8935	0,6047	1,8990	0,4095	0,7094	0,8521	0,6154
40	2,0678	0,3237	0,6943	0,8086	0,6896	1,6384	0,3830	0,6634	0,7823	0,6852
45	1,7866	0,2989	0,6409	0,7226	0,7726	1,4093	0,3535	0,6124	0,7003	0,7672
50	1,5335	0,2717	0,5826	0,6421	0,8561	1,2044	0,3214	0,5567	0,6192	0,8483
55	1,3027	0,2419	0,5197	0,5605	0,9377	1,1189	0,2868	0,4967	0,5391	0,9284
60	1,0884	0,2113	0,4532	0,4790	1,0192	0,8487	0,2499	0,4330	0,4601	1,0074
65	0,8882	0,1786	0,3830	0,3980	1,1002	0,6804	0,2113	0,3660	0,3818	1,0857
70	0,7007	0,1445	0,3100	0,3177	1,1805	0,5417	0,1710	0,2962	0,3044	1,1631
75	0,5173	0,1094	0,2346	0,2377	1,2605	0,4003	0,1294	0,2242	0,2275	1,2400
80	0,3427	0,0734	0,1981	0,1581	1,3401	0,2641	0,0868	0,1504	0,1511	1,3164
85	0,1700	0,0368	0,0790	0,0788	1,4194	0,1311	0,0436	0,0755	0,0752	1,3923
90	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4985	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4681

W	Tabelle 7					Tabelle 8				
	$\alpha = 35^0$					$\alpha = 40^0$				
	X ₂	X ₅	Y ₂	Y ₄	S ₁	X ₂	X ₅	Y ₂	Y ₄	S ₁
0 ⁰	∞	0,5736	0,8191	1,4325	0,0	∞	0,6428	0,7660	1,3938	0,0
5	4,8880	0,5714	0,8160	1,3452	0,0873	4,2312	0,6403	0,7633	1,3063	0,0865
10	3,6826	0,5649	0,8067	1,2551	0,1744	3,1571	0,6330	0,7544	1,2192	0,1746
15	2,9810	0,5540	0,7912	1,1714	0,2611	2,5335	0,6209	0,7399	1,1327	0,2611
20	2,4866	0,5390	0,7697	1,0854	0,3471	2,0958	0,6040	0,7199	1,0470	0,3468
25	2,1067	0,5198	0,7424	1,0005	0,4320	1,7609	0,5826	0,6943	0,9624	0,4314
30	1,7993	0,4967	0,7094	0,9165	0,5160	1,4923	0,5567	0,6634	0,8792	0,5146
35	1,5426	0,4698	0,6710	0,8336	0,5989	1,2692	0,5265	0,6275	0,7974	0,5964
40	1,3228	0,4394	0,6275	0,7520	0,6805	1,0799	0,4924	0,5868	0,7174	0,6764
45	1,1311	0,4056	0,5792	0,6717	0,7608	0,9167	0,4545	0,5429	0,6389	0,7549
50	0,9615	0,3687	0,5265	0,5929	0,8396	0,7737	0,4132	0,4924	0,5623	0,8315
55	0,8092	0,3290	0,4698	0,5153	0,9172	0,6469	0,3687	0,4394	0,4872	0,9066
60	0,6709	0,2868	0,4096	0,4390	0,9935	0,5332	0,3214	0,3830	0,4138	0,9800
65	0,5437	0,2424	0,3462	0,3645	1,0680	0,4297	0,2717	0,3238	0,3420	1,0518
70	0,4251	0,1962	0,2802	0,2898	1,1427	0,3346	0,2198	0,2620	0,2715	1,1223
75	0,3134	0,1484	0,2120	0,2164	1,2161	0,2456	0,1664	0,1983	0,2020	1,1918
80	0,2063	0,0996	0,1422	0,1439	1,2886	0,1613	0,1116	0,1330	0,1334	1,2604
85	0,1023	0,0500	0,0714	0,0715	1,3610	0,0799	0,0560	0,0668	0,0655	1,3283
90	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4325	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3959

x₁ und y₁ gelten für sämtliche α Werthe

x₃ = y₂; x₄ = x₂; x₆ = x₅; y₃ = y₁; y₅ = y₁; y₆ = y₄.

Tabelle 9.					
α	$\log \sin \alpha$	$2 \log \sin \alpha$	$2 \sin^2 \alpha$	$\log \cos \alpha$	$\log \operatorname{tg} \alpha$
10 ⁰	9.23 967	8.47 934	0,0604	9.99 335	9.24 632
15	9.41 300	8.82 600	0,1340	9.98 494	9.42 805
20	9.53 405	9.06 810	0,2340	9.97 299	9.56 107
25	9.62 595	9.25 190	0,3572	9.95 728	9.66 867
30	9.69 897	9.39 794	0,5000	9.93 753	9.76 144
35	9.75 859	9.51 718	0,6580	9.91 336	9.84 523
40	9.80 807	9.61 614	0,8264	9.88 425	9.92 381
α	$\log \operatorname{cotg} \alpha$	A_0	$\log A_0$	A_2	$\log A_2$
10 ⁰	0.75 368	0,9926	0.99 677—1	0,0039	0.59 106—3
15	0.57 195	0,9832	0.99 264—1	0,0086	0.93 450—3
20	0.43 893	0,9702	0.98 686—1	0,0149	0.17 319—2
25	0.33 133	0,9540	0.97 955—1	0,0233	0.36 736—2
30	0.23 856	0,9346	0.97 063—1	0,0332	0.52 114—2
35	0.15 477	0,9120	0.95 999—1	0,0445	0.64 836—2
40	0.07 619	0,8887	0.94 876—1	0,0569	0.75 511—2

2. Der Stirnbogen des Gewölbes ist elliptisch und der Normalschnitt halbkreisförmig.

a) Die vertikale Projektion der Lagerfuge.

Ist r der Radius des halbkreisförmigen Normalschnittes, so hat der elliptische Stirnbogen r zur Höhe und $\frac{r}{\cos \alpha}$ zur halben grossen Axe. Behalten wir die Bezeichnung des Winkels, den ein beliebiger Radius des Normalschnittes mit dem Horizont bildet, mit w , und werden die Koordinaten eines beliebigen Punktes P_1 des Stirnbogens, durch welchen eine Lagerfuge hindurchgehen soll, zunächst auf den Kämpferanfang bezogen und (wie bei 1. S. 83 in Fig. 19) mit x und y bezeichnet, so wird:

$$x = \frac{r}{\cos \alpha} (1 - \cos w)$$

$$y = r \sin w.$$

Durch Differenzieren erhält man dann:

$$dx = \frac{r}{\cos \alpha} \sin w \, dw; \quad dy = r \cos w \, dw,$$

so dass die Differentialgleichung des elliptischen Stirnbogens den Werth annimmt:

$$\frac{dx}{dy} = \frac{\operatorname{tg} w}{\cos \alpha}.$$

Zu dem Stirnbogen steht die vertikale Projektion der Lagerfuge rechtwinklig; mithin ist die Differentialgleichung der orthogonalen Trajektorie:

$$\frac{dy}{dx} = - \frac{\operatorname{tg} w}{\cos \alpha}.$$

Setzt man für $dy = r \cos w \, dw$ ein, so wird

$$dx = - \frac{r \cos \alpha \cdot \cos w \, dw}{\operatorname{tg} w} = - r \cos \alpha \frac{\cos^2 w \, dw}{\sin w}.$$

Mithin wird

$$\begin{aligned} x &= - r \cos \alpha \int \frac{\cos^2 w}{\sin w} \, dw \\ &= - r \cos \alpha \int \frac{dw}{\sin w} + r \cos \alpha \int \sin w \, dw. \end{aligned}$$

Hierdurch erhält man:

$$x = - r \cos \alpha \log \operatorname{tg} \frac{w}{2} - r \cos \alpha \cos w + C.$$

Da $\log \operatorname{tg} \frac{w}{2} = - \log \operatorname{cotg} \frac{w}{2}$, so wird

$$x = r \cos \alpha \log \operatorname{cotg} \frac{w}{2} - r \cos \alpha \cdot \cos w + C.$$

Nach der Figur 25 ist für $w = 90^\circ$ die Ordinate x gleich der halben Spannweite des Ellipsenbogens, so dass die Konstante $C = \frac{r}{\cos \alpha}$; hiernach ist unter Einführung der Brigge'schen Logarithmen:

$$x = r \cos \alpha \left(\frac{\log \operatorname{cotg} \frac{w}{2}}{M} - \cos w \right) + \frac{r}{\cos \alpha}.$$

Verlegt man nun den Anfangspunkt des Koordinatensystems nach dem Mittelpunkt des Stirnbogens, so fällt $\frac{r}{\cos \alpha}$ fort, und bezeichnet man nunmehr die Koordinaten mit x_1 und y_1 , so wird

$$x_1 = r \cos \alpha \left(\frac{\log \operatorname{cotg} \frac{w}{2}}{M} - \cos w \right) \quad (36)$$

$$y_1 = r \sin w. \quad (37)$$

Für $w = 0^\circ$, ist $x_1 = +\infty$ und $y_1 = 0$,

„ $w = 90^\circ$, „ $x_1 = 0$ „ $y_1 = r$,

„ $w = 180^\circ$, „ $x_1 = -\infty$ „ $y_1 = 0$.

Die Kurve trägt daher den Charakter der Fig. 20.

b) Die horizontale Projektion der Lagerfuge.

Der Nullpunkt des Koordinatensystems falle mit dem Anfangspunkt der Gewölbaxe zusammen; die letztere bilde die Abscissenaxe. Die Koordinaten mögen mit x_2 und y_2 bezeichnet sein.

Die Scheitellagerfuge schneidet das durch P gehende horizontale Gewölbelement in p_1 und p_2 , Fig. 26; es sind dann für p_2 die Koordinaten x_2 und y_2 zu bestimmen.

Bezeichnen wir die Entfernung des Punktes p_1 und p_2 am Stirnbogen mit l_1 und l_2 , so ist $l_1 = z + x_1$; wenn

$$z = \frac{a}{\cos \alpha} = \frac{r \cos w}{\cos \alpha}; \quad l_2 = \frac{l_1}{\sin \alpha}.$$

Substituirt man die Werthe l_1 und z , so wird

$$l_2 = \frac{r \cos w}{\sin \alpha \cos \alpha} + \frac{x_1}{\sin \alpha}.$$

Wird dieser Werth in

$$x_2 = l_2 - z \sin \alpha$$

eingesetzt, so ergibt sich:

$$x_2 = \frac{r \cos w}{\sin \alpha \cos \alpha} + \frac{r \cos \alpha}{\sin \alpha} \left(\frac{\log \cotg \frac{w}{2}}{M} - \cos w \right) - \frac{r \cos w}{\cos \alpha} \sin \alpha$$

$$x_2 = \frac{r}{\sin \alpha} \left\{ \frac{\cos w}{\cos \alpha} + \cos \alpha \frac{\log \cotg \frac{w}{2}}{M} - \cos \alpha \cos w - \cos w \frac{\sin^2 \alpha}{\cos \alpha} \right\}$$

$$x_2 = \frac{r}{\sin \alpha} \left\{ \frac{\cos w}{\cos \alpha} + \cos \alpha \frac{\log \cotg \frac{w}{2}}{M} - \cos \alpha \cos w - \frac{\cos w}{\cos \alpha} + \frac{\cos w \cos^2 \alpha}{\cos \alpha} \right\}$$

$$= \frac{r}{\sin \alpha} \left\{ \cos \alpha \frac{\log \cotg \frac{w}{2}}{M} \right\}$$

$$x_2 = r \cotg \alpha \frac{\log \cotg \frac{w}{2}}{M} \quad (38)$$

$$y_2 = r \cos w. \quad (39)$$

Bei $w = 0^0$, ist $x_2 = +\infty$ und $y_2 = -r$,

„ $w = 90^0$, „ $x_2 = 0$ „ $y_2 = 0$,

„ $w = 180^0$, „ $x_2 = -\infty$ „ $y_2 = -r$.

Hieraus folgt, dass die Kurve symmetrisch zur Gewölbaxe liegt und die beiden Kämpferlinien zu Asymptoten hat. Fig. 22.

c) Die Projektionen der Lagerfuge im Längsschnitt.

Behalten wir dasselbe Koordinatensystem bei und bezeichnen die bezüglichen Koordinaten des Punktes p_3 Fig. 26 mit x_3 und y_3 , so ist wie in 1.

$$x_3 = x_2 = r \cotg \alpha \frac{\log \cotg \frac{w}{2}}{M} \quad \text{und} \quad (40)$$

$$y_3 = y_1 = r \sin w. \quad (41)$$

Bei $w = 0^0$, ist $x_3 = +\infty$ und $y_3 = 0$

„ $w = 90^0$, „ $x_3 = 0$ $y_3 = r$

„ $w = 180^0$, „ $x_3 = -\infty$ $y_3 = 0$.

Die Kurve hat den Charakter der Fig. 23.

d) Die niedergelegte Lagerfuge.

Bezieht man die Koordinaten der niedergelegten Lagerfuge auf das beim halbkreisförmigen Stirnbogen unter d angegebene System, und benennt die Koordinaten des Punktes p_4 mit x_4 und y_4 , so ist nach Fig. 26

$$x_4 = x_2 = r \cotg \alpha \frac{\log \cotg \frac{w}{2}}{M} \quad (42)$$

$$y_4 = r \arccos(90 - w). \quad (43)$$

Bei $w = 0^0$, ist $x_4 = +\infty$ und $y_4 = +r \arccos 90^0$

„ $w = 90^0$, „ $x_4 = 0$ $y_4 = 0$

„ $w = 180^0$, „ $x_4 = -\infty$ $y_4 = -r \arccos 90^0$.

Die Kurve ist im Anfangspunkt des Koordinatensystems $= 0$, verläuft zu beiden Seiten der Abscissenaxe symmetrisch und hat die niedergelegten Kämpferlinien zu Asymptoten. Fig. 24.

Zur Konstruktion der Scheitellagerfuge sind bei dem Halbmesser des Normalschnittes $r = 1$ für die Schrägungswinkel

$$\alpha = 10^0, 15^0, 20^0, 25^0, 30^0, 35^0 \text{ und } 40^0$$

die Werthe der Gleichungen 36 bis 43 auf je 5^0 des Winkels w in den nachfolgenden Tabellen 10 bis 17 angegeben. Die Abscissenwerthe der Gleichungen 37, 39, 41 und 43 sind von dem Schrägungswinkel α unabhängig und können daher für sämtliche Brückengewölbe mit halbkreisförmigem Querschnitt angewandt werden; dieselben sind in der Tabelle 10 mitgetheilt.

Die Bestimmung der Ordinaten ist für $\alpha = 25^0$ in Tab. 14 ausführlich angegeben, während für die übrigen angenommenen Schrägungswinkel nur die Resultate mitgetheilt sind. Die zur Ermittlung derselben nothwendigen Werthe sind theils in der Tab. 10, theils in der Tab. 9 S. 92 angegeben.

Die Tabellen 10—17 enthalten gleichzeitig diejenigen Koordinaten, welche zur Bestimmung des Stirnbogens im Längsschnitt

und zur Abwicklung der innern Gewölbfäche nothwendig sind. Dieselben gelten gleichzeitig für die Konstruktion der Stossfugen, deren Gleichungen später unter Nr. 46 und 47, sowie 50 und 51 angegeben und mit x_5 y_5 bzw. x_6 y_6 bezeichnet sind.

Die mitgetheilten Werthe in den Tabellen 10—17 entsprechen mithin den nachfolgenden Gleichungen.

Der Normalschnitt ist ein Halbkreis.

Nach den Gleich. 36 bis 43, sowie 46, 47 und 50, 51 muss sein:

$$x_1 = r \cos \alpha \left(\frac{\log \cotg \frac{w}{2}}{M} - \cos w \right); \quad y_1 = r \sin w.$$

$$x_2 = r \cotg \alpha \frac{\log \cotg \frac{w}{2}}{M}; \quad y_2 = r \cos w.$$

$$x_3 = x_2; \quad y_3 = y_1.$$

$$x_4 = x_2; \quad y_4 = r \arccos (90^\circ - w).$$

$$x_5 = r \cos w \tg \alpha; \quad y_5 = y_1.$$

$$x_6 = x_5; \quad y_6 = y_4.$$

$$r = 1; \quad \log M = 9.63\,778 - 10.$$

Normalschnitt = Halbkreis. Tabelle 10.

w	$\frac{\log \cotg \frac{w}{2}}{M}$ — $\cos w$ aus Tab. 1 S. 88	$\log \left\{ \frac{\log \cotg \frac{w}{2}}{M} - \cos w \right\}$	$\log \left(\frac{\log \cotg \frac{w}{2}}{M} - \log M \right)$ — $\log M$ aus Tab. 1 S. 88	$\sin w$ y ₁	$\cos w$ y ₂	$\arccos (90^\circ - w)$ y ₄
0°	∞	0	∞	0,0	1,0	1,57 080
5	2,1352	0.32 943	0.49 573	0,0872	0,9962	1,48 353
10	1,4515	0.16 181	0.38 672	0,1736	0,9848	1,39 626
15	1,0617	0.02 599	0.30 698	0,2588	0,9659	1,30 900
20	0,7957	0.90 074—1	0.23 940	0,3420	0,9397	1,22 173
25	0,6002	0.77 827—1	0.17 796	0,4226	0,9063	1,13 446
30	0,4510	0.65 415—1	0.11 958	0,5000	0,8660	1,04 720
35	0,3351	0.52 515—1	0.06 230	0,5736	0,8192	0,95 993
40	0,2447	0.38 856—1	0.00 462	0,6428	0,7660	0,87 266
45	0,1743	0.21 125—1	0.94 517—1	0,7071	0,7071	0,78 540
50	0,1201	0.07 962—1	0.88 248—1	0,7660	0,6428	0,69 813
55	0,0793	0.89 900—2	0.81 480—1	0,8192	0,5786	0,61 087
60	0,0493	0.69 285—2	0.73 981—1	0,8660	0,5000	0,52 360
65	0,0283	0.45 102—2	0.65 405—1	0,9063	0,4226	0,43 633
70	0,0144	0.15 715—2	0.55 191—1	0,9397	0,3420	0,34 907
75	0,0060	0.77 960—3	0.42 300—1	0,9659	0,2588	0,26 179
80	0,0018	0.25 285—3	0.24 412—1	0,9848	0,1736	0,17 453
85	0,0002	0.34 242—4	0.94 143—2	0,9962	0,0812	0,08 726
90	0,0000	0.00 000	0.00 000	1,0000	0,0000	0,00 000

W	Tabelle 11			Tabelle 12			Tabelle 13		
	$\alpha = 10^0$			$\alpha = 15^0$			$\alpha = 20^0$		
	X ₁	X ₂	X ₅	X ₁	X ₂	X ₅	X ₁	X ₂	X ₅
0 ⁰	0	0	0,1763	0	0	0,2679	0	0	0,3640
5	2,1027	17,7611	0,1756	2,0624	11,6865	0,2669	2,0064	8,6032	0,3626
10	1,4294	13,8134	0,1737	1,4020	9,0922	0,2639	1,3640	6,6935	0,3584
15	1,0455	11,4990	0,1703	1,0254	7,5671	0,2584	0,9977	5,0707	0,3516
20	0,7836	9,8420	0,1657	0,7686	6,4766	0,2518	0,7477	4,7679	0,3420
25	0,5910	8,5436	0,1598	0,5797	5,6223	0,2428	0,5640	4,1389	0,3298
30	0,4441	7,4690	0,1527	0,4458	4,9152	0,2321	0,4238	3,6183	0,3152
35	0,3300	6,5460	0,1444	0,3236	4,3079	0,2195	0,3149	3,1712	0,2981
40	0,2409	5,7318	0,1351	0,2363	3,7720	0,2053	0,2299	2,7768	0,2788
45	0,1716	4,9987	0,1250	0,1684	3,2895	0,1894	0,1638	2,4216	0,2574
50	0,1183	4,3267	0,1133	0,1160	2,8473	0,1723	0,1129	2,0961	0,2340
55	0,0780	3,7023	0,1011	0,0766	2,4364	0,1537	0,0745	1,7936	0,2087
60	0,0486	3,1152	0,0882	0,0476	2,0500	0,1340	0,0463	1,5095	0,1820
65	0,0278	2,5570	0,0745	0,0273	1,6827	0,1133	0,0266	1,2385	0,1538
70	0,0141	2,0211	0,0603	0,0139	1,3300	0,0916	0,0135	0,9791	0,1245
75	0,0059	1,5020	0,0456	0,0058	0,9884	0,0694	0,0057	0,7277	0,0942
80	0,0018	0,9950	0,0306	0,0017	0,6547	0,0465	0,0017	0,4820	0,0632
85	0,0002	0,4956	0,0154	0,0002	0,3261	0,0234	0,0002	0,2401	0,0317
90	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabelle 14.

$$\alpha = 25^0$$

W	$\log \left\{ \frac{\log \cotg \frac{W}{2}}{M} - \cos W \right\}$ + $\log \cos \alpha$	X ₁	$\log (\log \cotg \frac{W}{2}) \lg M$ + $\log \cotg \alpha$	X ₂	$\log \cos W + \lg \lg \alpha$	X ₅
0 ⁰	0	0	0	0	9.66 867	0,4663
5	0.28 671	1,9351	0.82 716	6,7168	9.66 701	0,4645
10	0.11 909	1,3155	0.71 805	5,2246	9.66 202	0,4592
15	0.98 327—1	0,9622	0.63 831	4,3482	9.65 361	0,4504
20	0.85 802—1	0,7211	0.57 073	3,7216	9.64 166	0,4382
25	0.73 555—1	0,5439	0.50 929	3,2306	9.62 595	0,4226
30	0.61 143—1	0,4087	0.45 091	2,8243	9.60 620	0,4038
35	0.48 243—1	0,3037	0.39 363	2,4753	9.58 203	0,3820
40	0.34 584—1	0,2207	0.33 595	2,1674	9.55 292	0,3572
45	0.19 853—1	0,1580	0.27 650	1,8893	9.51 816	0,3297
50	0.03 690—1	0,1089	0.21 381	1,6361	9.47 674	0,2997
55	0.85 628—2	0,0718	0.14 613	1,4000	9.42 726	0,2675
60	0.65 013—2	0,0447	0.07 114	1,1779	9.36 764	0,2331
65	0.40 830—2	0,0256	0.98 538—1	0,9669	9.29 462	0,1971
70	0.11 443—2	0,0130	0.88 324—1	0,7643	9.20 272	0,1595
75	0.73 688—3	0,0055	0.75 433—1	0,5680	9.08 167	0,1207
80	0.21 013—3	0,0016	0.57 545—1	0,3762	8.90 834	0,0810
85	0.29 970—4	0,0002	0.27 276—1	0,1874	8.60 897	0,0406
90		0,0		0,0		0,0

W	Tabelle 15.			Tabelle 16.			Tabelle 17.		
	$\alpha = 30^{\circ}$			$\alpha = 35^{\circ}$			$\alpha = 40^{\circ}$		
	X ₁	X ₂	X ₅	X ₁	X ₂	X ₅	X ₁	X ₂	X ₅
0°	∞	∞	0,5774	0	0	0,7002	0	0	0,8391
5	1,8491	5,4235	0,5751	1,7490	4,4720	0,6975	1,6356	3,7318	0,8359
10	1,2570	4,2197	0,5685	1,1890	3,4793	0,6896	1,1119	2,9034	0,8263
15	0,9194	3,5120	0,5577	0,8697	2,8966	0,6764	0,8133	2,4164	0,8105
20	0,6891	3,0058	0,5424	0,6518	2,4784	0,6580	0,6095	2,0682	0,7867
25	0,5198	2,6093	0,5233	0,4916	2,1514	0,6346	0,4598	1,7954	0,7605
30	0,3905	2,2810	0,5000	0,3694	1,8808	0,6064	0,3455	1,5695	0,7267
35	0,2902	1,9993	0,4729	0,2745	1,6484	0,5736	0,2567	1,4404	0,6873
40	0,2119	1,7506	0,4422	0,2004	1,4434	0,5364	0,1874	1,2055	0,6428
45	0,1509	1,5267	0,4083	0,1428	1,2588	0,4951	0,1335	1,0504	0,5933
50	0,1040	1,3217	0,3711	0,0984	1,0896	0,4501	0,0920	0,9092	0,5394
55	0,0686	1,1307	0,3312	0,0649	0,9323	0,4016	0,0607	0,7780	0,4813
60	0,0427	0,9514	0,2887	0,0404	0,7845	0,3501	0,0378	0,6547	0,4195
65	0,0245	0,7809	0,2440	0,0231	0,6439	0,2959	0,0216	0,5373	0,3546
70	0,0124	0,6172	0,1974	0,0117	0,5089	0,2395	0,0110	0,4248	0,2870
75	0,0052	0,4587	0,1494	0,0049	0,3782	0,1812	0,0046	0,3156	0,2172
80	0,0016	0,3039	0,1003	0,0015	0,2505	0,1216	0,0014	0,2091	0,1457
85	0,0002	0,1513	0,0503	0,0002	0,1248	0,0610	0,0002	0,1041	0,0731
90	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

§ 8.

Die Wahl der Stossfläche und die Festlegung der Stossfuge in den verschiedenen Projektionen.

Bei einem Brückengewölbe mit veränderlichem Fugenwinkel stellt man die Stossfläche fast ohne Ausnahme parallel zum Stirnbogen, so dass dann die Stossfugen in allen Projektionen dem Stirnbogen gleich sind. Die Stossfugen zwischen zwei Lagerschichten entsprechen daher Bogentheilen, welche gleichartig mit dem zwischen den entsprechenden Erzeugenden liegenden Bogenstück des Stirnbogens sind.

Die vertikale Projektion der Stossfuge, welche je nach der Wahl der Leitlinie der Gewölbfläche meist elliptisch oder kreisförmig ist, und die horizontale Projektion, welche als eine Gerade erscheint, lassen sich sehr leicht konstruiren. Für die Projektion der Stossfuge im Längsschnitt des Brückengewölbes und in der abgewickelten Gewölbfläche ist es vortheilhaft wiederum Schablonen zu konstruiren, damit die grosse Anzahl der vorkommenden Stossfugen ebenso rasch wie genau zu verzeichnen ist.

Für die Herstellung dieser Schablone kann man die Kurven sowohl graphisch als analytisch festlegen. Da die letzteren genau dem Stirnbogen entsprechen, so kann man für die innere Gewölbfäche auch hier die bereits in § 3 angegebenen Methoden und Gleichungen benutzen.

Es ist demnach für die obige Annahme der Stossfläche:

1. Die Projektion der Stossfuge im Längsschnitt des Gewölbes.

Das graphische Verfahren zur Festlegung dieser Projektionen ist in § 3 unter I. bereits angegeben.

Nimmt man behufs Festlegung der Kurve durch Rechnung das in § 3 unter I. angegebene Koordinatensystem an und bezeichnet man die Koordinaten eines beliebigen Punktes der Kurve mit x_5 und y_5 , Fig. 21 und 26, so ist

a) für den halbkreisförmigen Stirnbogen nach Gleichung 1 S. 72

$$x_5 = r \cos w \sin \alpha \quad (44)$$

$$y_5 = r \sin w. \quad (45)$$

b) für den halbkreisförmigen Normalschnitt nach Gleichung 2 S. 73

$$x_5 = r \cos w \operatorname{tg} \alpha \quad (46)$$

$$y_5 = r \sin w, \quad (47)$$

wenn unter w derjenige Winkel verstanden wird, welcher in § 3 unter I. 1 S. 72 bzw. I. 2 S. 73 angegeben ist.

2. Die niedergelegte Stossfuge.

Die niedergelegte Stossfuge zu konstruieren, ist mit der Abwicklung des Stirnbogens in § 3 unter II. identisch, wo das graphische Verfahren unter 1, das analytische unter 2 β S. 77 angegeben ist. Nimmt man für letzteres dasselbe Koordinatensystem an, dessen Anfangspunkt durch die Gleichungen 19 und 20 festgelegt ist, und bezeichnet man die Koordinaten eines beliebigen Punktes statt mit γ und η : mit x_6 und y_6 , Fig. 21 und 26, so ist,

a) für den halbkreisförmigen Stirnbogen nach Gleichung 21 und 22 S. 78

$$x_6 = r \cos w \sin \alpha \quad (48)$$

$$y_6 = \frac{s}{2} = s_1 \quad (49)$$

b) für den halbkreisförmigen Normalschnitt
nach Gleichung 23 und 24 S. 78

$$x_6 = r \cos w \operatorname{tg} \alpha \quad (50)$$

$$y_6 = r \operatorname{arc}(90 - w), \quad (51)$$

wenn für a) und b) die im § 3 angegebene Bezeichnung des Winkels w Gültigkeit hat.

Für die Schrägungswinkel

$$\alpha = 10^0 \ 15 \ 20 \ 25 \ 30 \ 35 \ \text{und} \ 40^0$$

sind die Werthe der Gleichungen 44, 45 bzw. 48, 49 in den Tabellen 1 bis 8 S. 89 bis 91 angegeben, während die Werthe der Gleichungen 46, 47 und 50, 51 in den Tabellen 10 bis 17 mitgetheilt sind.

§ 9.

Die äussere Gewölbfläche.

Die äussere Gewölbfläche ist im Allgemeinen von geringer Wichtigkeit, da dieselbe nicht bearbeitet zu werden braucht, sondern rauh bleibt, und nur die Stirnflächen erhalten eine beschlagene Kante. Zur Beurtheilung der Grösse der einzelnen Gewölbesteine ist jedoch die abgewickelte äussere Gewölbfläche zeitweise nothwendig; auch wird das Gewölbe in der Zeichnung gewöhnlich in der Ansicht vollständig dargestellt, und aus diesem Grunde möge die Konstruktion der äussern Gewölbfläche kurz angegeben werden.

Die Leitlinie der äussern Gewölbfläche richtet sich nach der Spannweite und den Belastungsverhältnissen der Brücke; sie wird daher in allen Fällen verschieden sein. Aus diesem Grunde lässt sich die Breite der abgewickelten Gewölbfläche und der niedergelegten Stirnbogen analytisch nur durch weitläufige Rechnungen bestimmen, sodass das graphische Verfahren für die Abwicklung dieser Gewölbfläche beizubehalten ist; dasselbe genügt auch vollkommen; die Abwicklung geschieht genau ebenso wie in § 3 für die innere Gewölbfläche angegeben ist.

Für die Festlegung der Lager- und Stossfugen in den verschiedenen Projektionen lassen sich ebenfalls wegen der Mannigfaltigkeit der äussern Gewölblinie nicht zweckmässig durch Koordinaten bestimmen, sodass auch hier die Anwendung des graphischen Verfahrens zweckmässig ist. Man wird nur eine Fuge niederlegen und nach derselben eine Schablone konstruieren, mittels wel-

cher die übrigen Fugen zu verzeichnen sind. Für die Lagerfuge hat man die durch den Scheitel gehende Kurve festzulegen, während man zur Bestimmung der Schablone für die Stossfuge einfach den niedergelegten Stirnbogen benutzen kann, vorausgesetzt, dass die Stossflächen zu dem Stirnbogen parallel gestellt sind.

Die äussere Scheitellagerfuge kann man nun genau so bestimmen, wie das graphische Verfahren für die Bestimmung der innern Scheitellagerfuge in § 6 S. 81 angegeben ist. Allein, wenn die letztere bereits konstruirt ist, so ermittelt man zunächst mit Hilfe der vertikalen Projektion derselben die Ansicht der äussern Scheitellagerfuge und aus dieser leitet man dann die übrigen Projektionen graphisch ab. Es kommt hierbei darauf an, die innere Scheitellagerfuge, auf welche sich sämtliche Konstruktionen stützen, möglichst genau zu bestimmen, sodass für die Festlegung derselben das analytische Verfahren § 7 S. 83 einzuschlagen ist. Aus der bekannten vertikalen Projektion der Scheitellagerfuge der innern Gewölbfläche erhält man die vertikale Projektion der durch den Scheitel gehenden Lagerfuge der äussern Gewölbfläche folgendermassen:

Ist durch $a\ b\ c\ d\ \dots$ Fig. 27 die Scheitellagerfuge, durch $g\ h\ i\ k\ \dots$ die Leitlinie der innern Gewölbfläche und durch $m\ n\ o\ p\ \dots$ die Leitlinie der äussern Gewölbfläche dargestellt, so zieht man durch die Theilpunkte $g\ h\ i\ k\ \dots$ Erzeugende, welche die zugehörige Scheitellagerfuge in $a\ b\ c\ d\ \dots$ treffen. Durch diese Punkte zieht man zu den Stirnfugen $g\ m, h\ n, i\ o, k\ p\ \dots$ parallele Geraden, welche die durch $m\ n\ o\ p\ \dots$ gezogenen Erzeugenden in $a_1\ b_1\ c_1\ d_1\ \dots$ schneiden, sodass beispielsweise $p\ d_1\ d\ k$ ein Parallelogramm darstellt. Verbindet man die Punkte $a_1\ b_1\ c_1\ d_1\ \dots$ mit einander, so erhält man die vertikale Projektion der Scheitellagerfuge an der äusseren Gewölbfläche. Aus letzterer ermittelt man graphisch ihre horizontale Projektion und aus dieser die abgewinkelte Fuge.

Fig. 27.
Tafel 18.

Mit Hilfe der verschiedenen Projektionen der äussern Scheitellagerfuge werden die entsprechenden Schablonen konstruirt.

§ 10.

Die Grösse der Fugenwinkel.

Die Lagerfugen schneiden jedes horizontale Gewölbelement nach § 1 unter gleichen Neigungen, welche Fugenwinkel genannt werden. Bezeichnen wir dieselben mit γ , so ist nach der sphäri-

schen Trigonometrie*) bei einem halbkreisförmigen Normalschnitt die Grösse dieses Winkels:

$$\sin \gamma = \sin \alpha \cdot \sin w. \quad (52)$$

Hiernach lässt sich für das durch den Winkel w festgelegte horizontale Gewölbelement der entsprechende Fugenwinkel bestimmen. Graphisch ermittelt man diesen Winkel folgendermassen:

Fig. 28.
Tafel 18.

Ist in Fig. 28 r der Radius des Gewölbnormalschnittes und soll für die durch p führende Erzeugende, welche durch den Winkel w festgelegt ist, der Fugenwinkel konstruiert werden, so trägt man an $m a$ den Schrägungswinkel α an, sodass $a m b = \alpha$; macht hierauf $m c = d p = m e$ und zieht durch e eine Parallele zu $m a$, welche die Peripherie in f schneidet. Verbindet man f mit m , so ist der Winkel $a m f$ der Fugenwinkel γ . Es ist $m e = \sin w$, und da $g e = m e \cdot \sin \alpha$, so ist $g e = \sin \alpha \cdot \sin w$. Es ist aber $k f = g e$, mithin erhalten wir durch $a m f$ den gesuchten Fugenwinkel γ .

§ 11.

Die Ausführung eines schiefen Brückengewölbes mit veränderlichem Fugenwinkel.

Aufgabe.

Es soll ein schiefes Brückengewölbe mit **halbkreisförmigem Normalschnitt** von 10 m lichter Weite und 14,5 m Länge ausgeführt werden. Der Schnittwinkel beider Axen betrage 65° ; die Stossflächen sollen parallel zu den Stirnflächen angeordnet werden.

Lösung. In diesem Falle ist $r = 5$ m und der Schrägungswinkel $\alpha = 90^\circ - 65^\circ = 25^\circ$; die Stirnbogen sind elliptisch mit einer Spannweite von $l = \frac{2 \cdot r}{\cos \alpha} = 11,03$ m,

sodass die halben Axen $\frac{l}{2}$ und r des Ellipsenbogens 5,515 bzw. 5 m betragen.

1. Das Gerippe des Gewölbes.

Fig. 29—31.
Tafel 19.

Man verzeichnet Fig. 29—31 Taf. 19 zunächst das Gerippe des Gewölbes, und zwar konstruiert man die vertikale Projektion der Stirnbogen der innern Gewölbfäche — die halben Ellipsen — vortheilhaft mittels einer Schablone, die dann später

*) Vergl. Heinzerling, die Brücken der Gegenwart, 2. Abtheilung Heft 2 S. 11.

auch zur Festlegung der Stossfugen verwandt wird. Die Herstellung dieser Schablone kann nach den gewöhnlichen graphischen Ellipsenkonstruktionen oder durch analytische Festlegung einzelner Punkte ausgeführt werden. Bezeichnen wir im letzteren Falle die Abscissen mit x , die Ordinaten mit y , so ist, wenn der Koordinatenanfangspunkt in der Gewölbaxe liegt:

x	0	1,0	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,3	5,515
y	5	4,90	4,64	4,45	4,19	3,87	3,44	2,89	2,08	1,36	0,00

(53)

Von der Belastung der Brücke hängt die Lage der Drucklinie ab, aus welcher die Gewölbstärke am Scheitel und Kämpfer sich ergibt; hiernach wird die äussere Gewölbfläche bestimmt, sodass wir dieselbe hier als bekannt voraussetzen. Es empfiehlt sich, auch diese Kurve aus denselben Gründen wie vorhin mittels einer Schablone zu verzeichnen.

Die abgewickelte innere Gewölbfläche legt man nach der in § 3 angegebenen Methode fest, und zwar sei hier das analytische Verfahren gewählt. Die Breite der abgewickelten Gewölbfläche beträgt $r \cdot \pi = 15,708$ m. Der abgewickelte Stirnbogen wird nach § S. 77 mittels eines Koordinatensystems verzeichnet, welches seinen Anfangspunkt in dem niedergelegten Scheitelpunkt des vorderen Stirnbogens hat, der auf den rechtsseitigen Kämpfer bezogen, nach Gleich. 20 S. 77 festgelegt ist durch:

$$x = r \cos w \operatorname{tg} \alpha; \quad y = \frac{r \pi}{2}.$$

Für $r = 5$; $w = 0^\circ$ und $\alpha = 25^\circ$ erhält man:

$x = 2,332$ (vergl. x_6 Tab. 14); $y = 7,854$ (vergl. y_6 Tab. 10).

Nach der Annahme werden die Stossfugen dem Stirnbogen parallel; es ist also auch hier vortheilhaft, zur Verzeichnung des abgewickelten Stirnbogens eine Schablone zu entwerfen, welche dann gleichzeitig für die Stossfugen zu verwenden ist. Zu diesem Zwecke bestimmt man die Kurven durch die in Tab. 14 angegebenen Werthe, indem man diese mit $r = 5$ multiplicirt. Es sind die mit x_6 und y_6 bezeichneten Koordinaten nach den Gleichungen 50 und 51

$$x_6 = r \cos w \operatorname{tg} \alpha; \quad y_6 = r \operatorname{arc} (90^\circ - w)$$

für je 5° des Winkels w in der nachfolgenden Tab. 19 angegeben. Die Kurve liegt symmetrisch zur Abscissenaxe. Es ist vortheilhaft, die hiernach konstruirte Schablone 32 Taf. 19 an die rechtsseitige Kämpferlinie $a b$ resp. in ihre Verlängerung anzulegen. Es muss c Fig. 32 für den abgewickelten vorderen Stirnbogen mit a Fig. 30 und für den hinteren Stirnbogen mit b zusammenfallen.

Für den Längsschnitt des Gewölbes verzeichnet man die Stirnbogen der innern Gewölbfäche mittels einer Schablone Fig. 36, welche nach den Gleichungen 46 und 47 durch

$$x_5 = r \cos w \operatorname{tg} \alpha; y_5 = r \sin w$$

konstruiert wird. Für je 5° des Winkels w sind die betreffenden Werthe in der Tab. 19 angegeben. Zur Festlegung des Stirnbogens in der äussern Gewölbfäche genügt das in § 3 mitgetheilte graphische Verfahren.

2. Die Festlegung der Lager- und Stossfugen.

Nachdem das Gerippe des Gewölbes verzeichnet ist, theilt man den Stirnbogen nach den Steinschichten in eine ungrade Anzahl gleicher Theile und überträgt diese in die verschiedenen Projektionen sowohl auf den vorderen wie hinteren Stirnbogen. Hierauf konstruiert man zur Festlegung der Lager- und Stossfugen die nothwendigen Schablonen. Die betreffenden Kurven werden hierbei festgelegt, indem man die in den Tabellen 10 und 14 angegebenen entsprechenden Werthe mit $r = 5$ multiplicirt, wodurch die Tab. 19 entsteht. Die vertikale Projektion der Scheitellagerfuge der äusseren Gewölbfäche wird nach den in § 9 angegebenen Konstruktionen festgelegt.

Tabelle 19.

w	$\alpha = 25^\circ \quad r = 5$					
	x_1	$x_2 \ x_3 \text{ u. } x_4$	$x_5 \text{ u. } x_6$	$y_1 \ y_3 \text{ u. } y_5$	y_2	$y_4 \text{ u. } y_6$
0°	∞	∞	2,332	0,0	5,000	7,854
5	9,675	33,584	2,323	0,436	4,981	7,418
10	6,578	26,123	2,296	0,868	4,924	6,981
15	4,811	21,741	2,252	1,294	4,830	6,545
20	3,606	18,608	2,191	1,710	4,699	6,108
25	2,720	16,153	2,113	2,113	4,532	5,672
30	2,044	14,121	2,019	2,500	4,330	5,236
35	1,519	12,377	1,910	2,868	4,096	4,800
40	1,104	10,837	1,786	3,214	3,830	4,363
45	0,790	9,447	1,649	3,536	3,536	3,927
50	0,545	8,180	1,499	3,830	3,214	3,490
55	0,359	7,000	1,338	4,096	2,868	3,054
60	0,223	5,900	1,166	4,330	2,500	2,618
65	0,128	4,834	0,986	4,531	2,113	2,181
70	0,065	3,822	0,798	4,699	1,710	1,745
75	0,027	2,840	0,604	4,830	1,294	1,309
80	0,008	1,881	0,405	4,924	0,868	0,872
85	0,001	0,932	0,203	4,981	0,436	0,436
90	0,0	0,0	0,0	5,000	0,0	0,0

Die in den Fig. 32—37 Taf. 19 angegebenen Schablonen zeigen: Fig. 32—37.
Tafel 19.

für die innere Gewölbfläche:

Fig. 32 die abgewickelte Stossfuge, welche mit der Kante $c d$ an der Kämpferlinie $a b$ Fig. 30 entlang geführt wird;

Fig. 33 die vertikalen Projektionen der Lager- und Stossfugen mit der Führung an $g h$ Fig. 29;

Fig. 34 die horizontale Projektion der Scheitellagerfuge, welche an der Axe von Fig. 30 entlang gleitet und zwar für die rechtsseitige Gewölbfläche in der Richtung von $n m$, für die linksseitige umgekehrt;

Fig. 35 die abgewickelte Scheitellagerfuge mit der Leitungsgeraden $e f$ Fig. 30 für beide Gewölbhälften;

Fig. 36 die Scheitellagerfuge und Stossfuge im Längsschnitt, welche an der Axe $m_3 n_3$ Fig. 31 zu führen ist;

und für die äussere Gewölbfläche:

Fig. 37 die vertikale Projektion der Scheitellagerfuge und der Stossfuge mit der Führungsgeraden $g h$ Fig. 29.

Es empfiehlt sich, für die horizontale und niedergelegte Scheitellagerfuge Fig. 34 und 35 die Kurve etwas über die Axe hinaus zu konstruiren, um in der Zeichnung durch das Umlegen der Schablone guten Anschluss zu erhalten.

Nach der Konstruktion der Schablonen beginnt man mit der Zeichnung der Lagerfugen in der abgewickelten innern Gewölbfläche. Wie bereits in § 2 erwähnt, kann man, am vorderen Stirnbogen beginnend, die einzelnen Lagerflächen nicht durch das ganze Gewölbe führen, da die Flächen an der linksseitigen Hälfte stets näher zu einander rücken, an dem rechtsseitigen Theile jedoch mehr von einander abweichen. Man darf daher die einzelnen Lagerflächen nur soweit durchführen, wie es die herzustellende Stärke eines Steines gestattet. Um auf beiden Stirnbogen eine gleiche Anzahl Steinschichte zu erhalten, hat man beide Stirnbogen nach denselben einzutheilen. Man lässt nun die einzelnen Lagerflächen — und darnach die Lagerfugen — durch die Theilpunkte der beiden Stirnbogen gehen und kombinirt dieselben in der Längsrichtung des Gewölbes derart, dass die herzustellenden Gewölbsteine weder zu gross noch zu klein ausfallen. Man zeichnet also zunächst in der abgewickelten innern Gewölbfläche die Lagerfugen durch alle Theilpunkte beider Stirnbögen so weit wie möglich, indem man die Schablone Fig. 35 an der Axe $e f$ entlang gleiten lässt und die-

selbe für jede Gewölbhälfte in der Richtung der angegebenen Scheitellagerfuge anlegt. Hierauf konstruirt man mit je einer halben Steinlänge mit Hilfe der Schablone Fig. 32 durchgehende Stossfugenlinien und entscheidet sich jetzt für die Begrenzung jedes einzelnen Steines. Hierbei ist zu bedenken, dass die einzelnen Steine nie dünner werden wie die Zeichnung der abgewickelten innern Gewölbfläche angiebt, wohl aber nach aussen zu stärker werden; man kann daher bei der Eintheilung bis zum Minimalmass der angenommenen Steinstärke hinabgehen, während das Maximalmass nicht erreicht werden darf. Bei der Eintheilung der Gewölbsteine ist natürlich auf einen guten Verband zu achten, ausserdem sind die Steine symmetrisch anzuordnen, um für je 2 Steine dieselben Schablonen benutzen zu können; es ist also beispielsweise die Eintheilung der linken vorderen Seitenhälfte des Gewölbes der rechten hinteren Seitenhälfte gleich zu nehmen.

Nachdem nun in der abgewickelten innern Gewölbfläche die Eintheilung der einzelnen Steine ausgeführt ist, kann man mit Hilfe der Schablonen durch die angegebenen Theilpunkte der Stirnbogen die Lagerfugen und durch die Länge der Steine die Stossfugen für jeden entsprechenden Stein, sowohl in der horizontalen und vertikalen Projektion, wie im Längsschnitt ebenso schnell wie sicher und genau verzeichnen.

Fig. 38.
Tafel 19.

Verlangt man für irgend einen Zweck die Fugenwinkel, so lassen diese für jede Erzeugende der Gewölbfläche sich durch Gl. 52 sehr leicht berechnen und nach Fig. 28 Taf. 18 konstruiren. In Fig. 38 Taf. 19 sind für die durch die Theilpunkte des Stirnbogens gelegten Erzeugenden die betreffenden Fugenwinkel konstruirt, welche auf der Geraden st besonders aufgetragen sind. Es ist beispielsweise für den 5-Theilpunkt des vorderen Stirnbogens der Fugenwinkel durch amf bestimmt, welcher auf der Geraden st durch $a_1 m_1 f_1$ angegeben ist.

3. Austragung eines Steines.

Es möge der Stein, welcher in den Fig. 29 und 30 durch eine Schraffur angegeben ist, ausgetragen werden. Die Austragung muss in einem möglichst grossen Massstabe erfolgen, damit aus der Zeichnung die nothwendigen Maasse zur Bearbeitung des Steines entnommen werden können.

Wenn nun schon bei Konstruktion des Gewölbes auf Taf. 19 die Schablonen grossen Nutzen gewährten, so kommen dieselben

bei der Austragung der Steine noch mehr zur Geltung. Man gebraucht hier nur stets einen Theil der Schablonen und daher ist es sehr wichtig, dass derselbe äusserst genau konstruirt wird. Dieses kann aber bei dem bedingten grossen Massstabe nur durch Bestimmung der Kurven auf analytischem Wege geschehen.

Man hat zunächst das horizontale Gewölbelement, welches den auszutragenden Stein vollständig umfasst, in einem grösseren Massstabe aufzuzeichnen. Liegt der zu zeichnende Stein wie im vorliegenden Falle dem Stirnbogen nahe, so zeichnet man diesen mit, während man sonst einen Parallelschnitt in der Nähe des auszutragenden Steines ausführt. Die innere Kante des Stirnbogens, welche der vertikalen Projektion der innern Stossfuge entspricht, wird mittels einer Schablone festgelegt. Letztere besteht aus einem Ellipsenbogen, dessen Axen $\frac{1}{2} = 5,515$ m bzw. $r = 5$ m betragen und dessen Koordinaten in Gl. 53 angegeben sind. Verschiebt man den Anfangspunkt des Koordinatensystems um $x = 2$ und $y = 3$ m nach A, sodass $\xi = x - 2$ und $\eta = y - 3$, so kann man den gesuchten Ellipsenbogen Fig. 39 Taf. 20 nach Gl. 53 festlegen durch

$$\begin{array}{c|c|c|c|c|c|c} \xi & 0,0 & 0,5 & 1,0 & 1,5 & 2,0 & 2,5 \\ \hline \eta & 1,64 & 1,45 & 1,19 & 0,87 & 0,44 & - 0,11 \end{array} \quad (54)$$

Mittels der durch diese Koordinaten konstruirten Schablone zeichnet man auf einer beliebigen Geraden CA Fig. 40 den Ellipsenbogen zu, konstruirt hierauf für diesen Theil die Gewölbstärke, welche entweder der Fig. 29 oder den bereits ausgeführten Untersuchungen über die Form der Drucklinie entnommen und im vorliegenden Falle als gegeben betrachtet wird, sodass hiernach die Schablone Fig. 41 herzustellen ist.

Fig. 39—41.
Tafel 19.

Zur Konstruktion der Schablone für die vertikale Projektion der innern Lagerfuge ersieht man aus Fig. 29, dass die innere sichtbare Fläche zwischen den Horizontalstreifen $y_1 = 3,3$ m bis $y_1 = 4,5$ m liegt, sodass für dieses Intervall auch die betreffende Schablone genügt. Nach Tab. 19 ist dieser horizontale Gewölbstreifen durch $w = 40^\circ$ bis $w = 65^\circ$ festgelegt. Nimmt man in B Fig. 39 den Anfangspunkt des Koordinatensystems für die innere Lagerfuge an und bezeichnet die Koordinaten dieses Theiles mit ξ_1 und η_1 , sodass $\xi_1 = x_1$ und $\eta_1 = y_1 - 3$, so wird für $w = 40^\circ$ bis 65° sein:

$$\begin{array}{c|c|c|c|c|c|c} x_1 & 1,10 & 0,79 & 0,55 & 0,36 & 0,22 & 0,13 \\ \hline y_1 & 0,21 & 0,54 & 0,83 & 1,10 & 1,33 & 1,53 \end{array} \quad (55)$$

Dadurch ist die vertikale Projektion der innern Lagerfuge in Fig. 39 bestimmt.

Die Lagerfugen des auszutragenden Steines treffen in der Verlängerung den vorderen Stirnbogen in v und u Fig. 40, wo die Seitenkanten der betr. Steinschicht rechtwinklig zur innern Wölbung stehen. Nachdem man auf dem Bogen $z u$ Fig. 40 diese Punkte v und u festgelegt hat, zieht man mit Hilfe der Schablone Fig. 39 die Lagerfugen $v n$ und $u q$, indem man die Gerade $C A$ Fig. 39 so lange der Geraden $C A$ Fig. 40 entlang schiebt, bis die Schablone die Punkte v und u trifft.

Bezeichnen wir den Abstand der beiden Stossflächen eines Steines mit L , so müssen die vertikalen Projektionen der Stossfugen in derselben Erzeugenden um $L \operatorname{tg} \alpha$ von einander entfernt, also in Fig. 40 $s t = L \operatorname{tg} \alpha$ sein. Die Steinlänge L ist im vorliegenden Falle zu 1,8 m angenommen (dieser Werth ist deshalb so gross gewählt, um eine möglichst deutliche Figur auf Taf. 40 zu erhalten);

$$\text{da } \operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} 25^\circ = 0,4663, \text{ so wird}$$

$$s t = 0,4663 \cdot 1,8 = 0,839 \text{ m.}$$

Wie aus Fig. 30 ersichtlich, ist die vordere Stossfläche unsers Steines um eine Steinlänge von dem Stirnbogen entfernt, sodass in Fig. 40 auch $z s = L \operatorname{tg} \alpha = 0,839 \text{ m}$ sein muss. Zieht man nun durch s und t mittels der Schablone Fig. 39 die Stossfugen in bekannter Weise, so schneiden diese die bereits gezogenen Lagerfugen und durch $i l q n$ Fig. 40 erhalten wir die vertikale Projektion der innern Gewölbfläche des auszutragenden Steines.

Wie leicht ersichtlich, kann man auch derart verfahren, dass man zunächst die Stossfuge $s l$ zeichnet, auf derselben die Schnittpunkte i und l bestimmt und durch diese die Lagerfugen zieht, welche von der durch t gelegten Stossfuge in n und q geschnitten werden, wie zum Beispiel in Fig. 42 geschehen ist.

Zur Bestimmung der Steinstärke überträgt man die 4 Eckpunkte $i l q n$ Fig. 40 auf den Bogen $z u$ und errichtet in diesen Punkten $i_2 l_2 q_2 u_2$ Normale zu dem Ellipsenbogen, indem man in bekannter Weise die beiden Brennpunkte f und f_1 benutzt. Letztere liegen 3 m unter der Geraden $C A$; und zwar von der in A gezogenen Vertikalen um $2,327 \pm 2 \text{ m}$ seitlicher Verschiebung, also 0,327 bzw. 4,327 m entfernt. Die Normalen treffen die äussere

Gewölblfläche in $k_2 m_2 p_2 o_2$. Zieht man nun in Fig. 42 durch $i l q n$ Parallelen zu $i_2 k_2$; $l_2 m_2$; $q_2 p_2$ und $n_2 o_2$ Fig. 40 von gleicher Länge, so sind in Fig. 42 durch $l m p q$ und $i k o n$ die beiden Lagerflächen des auszutragenden Steines festgelegt. Mit Hilfe der Schablone Fig. 41 werden in Fig. 42 die äusseren Stossfugen $m k$ und $o p$ verzeichnet, indem man die Leitlinie $C D$ der Schablone soweit auf der Geraden $C D$ Fig. 42 verschiebt, bis die Schablone die Punkte $k m$ bzw. $o p$ trifft.

Fig. 42. 43.
Tafel 20.

Die Lagerfugen der äussern Wölblfläche konstruirt man vortheilhaft mittels Hilfsebenen, welche zu den Stossflächen parallel angeordnet werden; dieselben hat man auch noch später nöthig. Im vorliegenden Falle sind 2 Hilfsebenen angewandt, welche die Steinlänge in 3 gleiche Theile zerlegen. Um die Schnittlinien dieser Hilfsebenen mit dem auszutragenden Steine zu erhalten, theilt man zunächst $s t$ Fig. 40 und 42 in 3 gleiche Theile, legt durch diese Theilpunkte mittels der Schablone Fig. 39 Stossfugenkurven, welche die innern Lagerfugen in 1 und 2 bzw. 5 und 6 treffen. Diese Punkte werden auf den Stirnbogen nach 1, 2, 5 und 6 übertragen und in denselben Normale errichtet, welche die äussere Wölblfläche in den Punkten 3 und 4 bzw. 7 und 8 treffen. Zieht man nun durch die Punkte 1, 2, 5 und 6 Fig. 42 zu den entsprechenden Geraden am Stirnbogen 1 3, 2 4, 5 7 und 6 8 Fig. 40 Parallelen von gleicher Länge, so werden in Fig. 42 die Punkte 3, 4, 7 und 8 festgelegt, durch $k 3 7 o$ und $m 4 8 p$ werden die Lagerfugen der äusseren Gewölblfläche in der vertikalen Projektion bestimmt. Der auszutragende Stein ist in der vertikalen Projektion nunmehr durch $i l q n o p m k i$ festgelegt.

Aus der vertikalen Projektion des ausgetragenen Steines erhält man den Grundriss durch einfaches Projiciren unter Zuhilfenahme der beiden Schnittebenen II. III. Fig. 43.

Zur Darstellung des Steines in schiefer Parallelprojektion benutzt man den kleinsten parallelipedischen Körper, aus welchem der betreffende Stein gearbeitet werden kann. Die Grösse dieses Körpers wird dadurch bestimmt, dass um die vertikale Projektion des Steines Fig. 42 das kleinste Rechteck gelegt wird, während die Länge des Paralleliped durch den senkrechten Abstand der beiden Stossflächen gegeben ist. In Fig. 44 ist dieser Körper $a b c d e f g h$ in schiefer Parallelprojektion dargestellt. In denselben zeichnet man zunächst die Lagerflächen des herzustellen- den Steines, welche folgendermassen bestimmt werden. In Fig. 42

Fig. 44.

verlängert man die Seitenkanten und die Schnittlinien 2 4; 6 8; 1 3 und 5 7 einerseits bis zur Fläche a d e h des parallelopipedischen Körpers, anderseits bis zur Leitlinie CD.

Die Seitenkanten der hinteren Stossfläche des Steines, Schnitt IV, sind sehr einfach festzulegen, da die Steinkante o n mit der Kante g h des parallelopipedischen Körpers zusammenfällt, während q p durch die Gerade q p₁ festgelegt ist, deren Endpunkte in den Kanten g f und h e sich befinden, sodass g q Fig. 44 = g q Fig. 42 und h p₁ Fig. 44 = h p₁ Fig. 42. Für die übrigen Schnitte bedarf man einer Leitlinie, welche auch für Schnitt IV festgelegt sein möge. Man verlängert in Fig. 44 die Kanten h g und e f und macht g E₄ Fig. 44 = g E Fig. 42 und f D₄ Fig. 44 = f D Fig. 42; verbindet man E₄ mit D₄, so ist E₄ D₄ eine Leitlinie für die hintere Stossfläche des Steines, welche man zur Festlegung der Wölbfläche nöthig hat.

Zieht man durch E₄ eine Parallele zu b g, so schneidet diese Gerade E₄ E₁ die Schnittlinien, welche die Vertikalebene III, II und I in der verlängerten Grundfläche a b g h haben, in den Punkten E₃, E₂ und E₁; legt man durch diese zu E₄ D₄ Parallelen, so sind die Leitlinien für die Lagerflächen festgelegt. Auf diesen trägt man die Strecken E₃ 6₁; E₃ 5₁ und E₂ 2₁; E₂ 1₁ sowie E₁ 1₁; E₁ i₁ ab, welche man Fig. 42 durch E 6₁; E 5₁ und E 2₁; E 1₁ sowie durch E 1₁; E i₁ entnimmt.

In der Kante a d Fig. 44 legt man die Punkte k und m₁, in den Schnitten II und III an der Fläche a h e d die Punkte 3₁ 4₁ und 7₁ 8₁ fest, deren Höhenlagen über der Grundebene a h aus der Kante G H Fig. 42 entnommen werden. Zieht man in Fig. 44 die entsprechenden Geraden, welche den Lagerflächen angehören, m₁ l₁; 4₁ 2₁; 8₁ 6₁ und 7₁ 5₁; 3₁ 1₁ und k i₁, so schneiden diese die Seitenfläche b c f g des parallelopipedischen Steinkörpers in α β γ δ ... u. s. w.; es sind durch m₁ p₁ q γ und k h g δ die beiden Lagerflächen bestimmt, welche in Fig. 45 besonders angegeben sind. Auf diesen Flächen legt man die Lagerfugen fest, indem man in den 4 vertikalen Schnittebenen die Begrenzungspunkte einträgt, sodass in Fig. 44 die Länge 8₁ 8; 4₁ 4; m₁ m; k i; 3₁ 3; 7₁ 5 u. s. w.; den entsprechenden Strecken in Fig. 42 8₁ 8; 4₁ 4; m₁ m u. s. w. gleich sind. Es sind mithin in Fig. 44 durch l 2 6 q und i 1 5 n die innern Lagerfugen und durch m 4 8 p und k 5 7 o die äusseren Lagerfugen des auszutragenden Steines bestimmt.

Fig. 45.
Tafel 20.

Die Wölbflächen des Steines legen wir fest mit Hilfe der Leitlinien und der Schablonen Fig. 39 und 41. So wird zur Festlegung der vorderen Stirnfläche des Steines zunächst die Strecke $E_1 s$ Fig. 44 = $E s$ Fig. 42 gemacht; dann legt man an $s E_1 l_1$ Fig. 44 die Schablone Fig. 39 derart, dass die Axe $z A$ die Leitlinie deckt und z mit s zusammenfällt; es muss nun die Kurve durch die bereits bestimmten Punkte $i l$ hindurchgehen. Auf gleiche Weise wird die äussere Wölbfläche festgelegt, indem die Schablone Fig. 41 an der Leitlinie so lange entlang geschoben wird, bis die Kurve die entsprechenden Punkte der Lagerfugen, also m und n , trifft.

Ebenso werden die Stossfugen an der hinteren Fläche des Steines festgelegt, indem die Schablonen Fig. 39 und 41 derart an der Leitlinie $E_4 D_4$ entlang geleitet werden, dass die Kurven die Punkte $n q$ bzw. $o p$ berühren. Es muss hierbei $E_4 t$ Fig. 44 $E t$ Fig. 42 sein. Die Kurve der Schnitte II und III legt man auf gleiche Weise fest. Durch die Probe, dass die Schablonen der Stossfugen beide in derselben Vertikalebene festgelegten Punkte der Lagerfuge treffen müssen, ist die genaue Zeichnung gesichert. Es ist daher durch $l e p q l i n o k$ Fig. 44 der betreffende Stein in schiefer Parallelprojektion dargestellt.

Legt man eine vertikale Schnittebene rechtwinklig zur Gewölbaxe, so erhält man durch $l \nu \mu$ Fig. 42 bis 44 im Raume einen kreisförmigen Schnitt. Die Punkte $\nu \mu$ Fig. 44 werden durch Koordinaten festgelegt.

4. Die Bearbeitung des Steines.

Es wird zunächst ein parallelopipedischer Steinkörper $a b c d e f g h$ Fig. 45 hergestellt und dieser nach den Lagerflächen des Steines bearbeitet. Letzteres geschieht derart, dass beispielsweise für die obere Lagerfläche des Steines an den Seiten des parallelopipedischen Körpers die Punkte $m_1 4_1 8_1 p_1$ sowie $q \alpha \beta \gamma$ Fig. 44 bestimmt und diese Lagerfugen angeschlagen werden. Mit Hilfe eines Richtscheits, welches an den Anschlagkanten $m_1 p_1$ und γq in steter paralleler Lage zu den Stirnflächen geführt wird, erhält man in Fig. 45 die windschiefe Lagerfläche $m_1 p_1 q \gamma$. Auf dieselbe Weise wird die untere Lagerfläche $k h g \delta$ hergestellt, sodass nunmehr der Steinkörper die Form von $k d m \gamma b g q p_1 h$ Fig. 45 hat. Hieran schliesst sich die Bearbeitung der innern Wölbfläche, zu welcher Schablonen benutzt werden. Legt man durch den höchsten und niedrigsten Punkt der innern Wölbfläche l bzw. n Fig. 42 die be-

treffenden Erzeugenden, so schneiden diese sich mit den Stossfugen in F und J, sodass für die Bearbeitung der Wölbfläche Schablonen oder Fugenbretter nothwendig sind, welche das zwischen den Erzeugenden l J und F n liegende horizontale Gewölbelement umfasst. Lässt man durch F G und J H die Fugenbretter bis zur Seitenfläche a d e h abgrenzen, so ist für die vordere Stossfläche die Schablone d m l F G und für die hintere Fläche das Fugenbrett n h H J Fig. 42 und 45 erforderlich; hierbei wird für die Stossfugen l F und J n die Schablone Fig. 39 benutzt. Diese Fugenbretter werden nun in Fig. 45 ebenso an die Stossflächen des zu bearbeitenden Steines gelegt, wie ihre Lage in Fig. 42 ist und durch eiserne oder hölzerne Klammern Fig. 46, welche den Stein und die Schablonen umfassen, fest mit einander verbunden. Bei der Bearbeitung der Wölbfläche wird das Richtscheit in paralleler Lage zu l J und F n an der Schablone entlang geführt.

Auf dieselbe Weise lässt sich auch die äussere Wölbfläche bearbeiten, jedoch bleibt dieselbe meistens unbearbeitet; man verzeichnet daher nur die Stossfugen m k und p o Fig. 44 an die Stossflächen und nach denselben findet eine rohe Behauung des Steines statt.

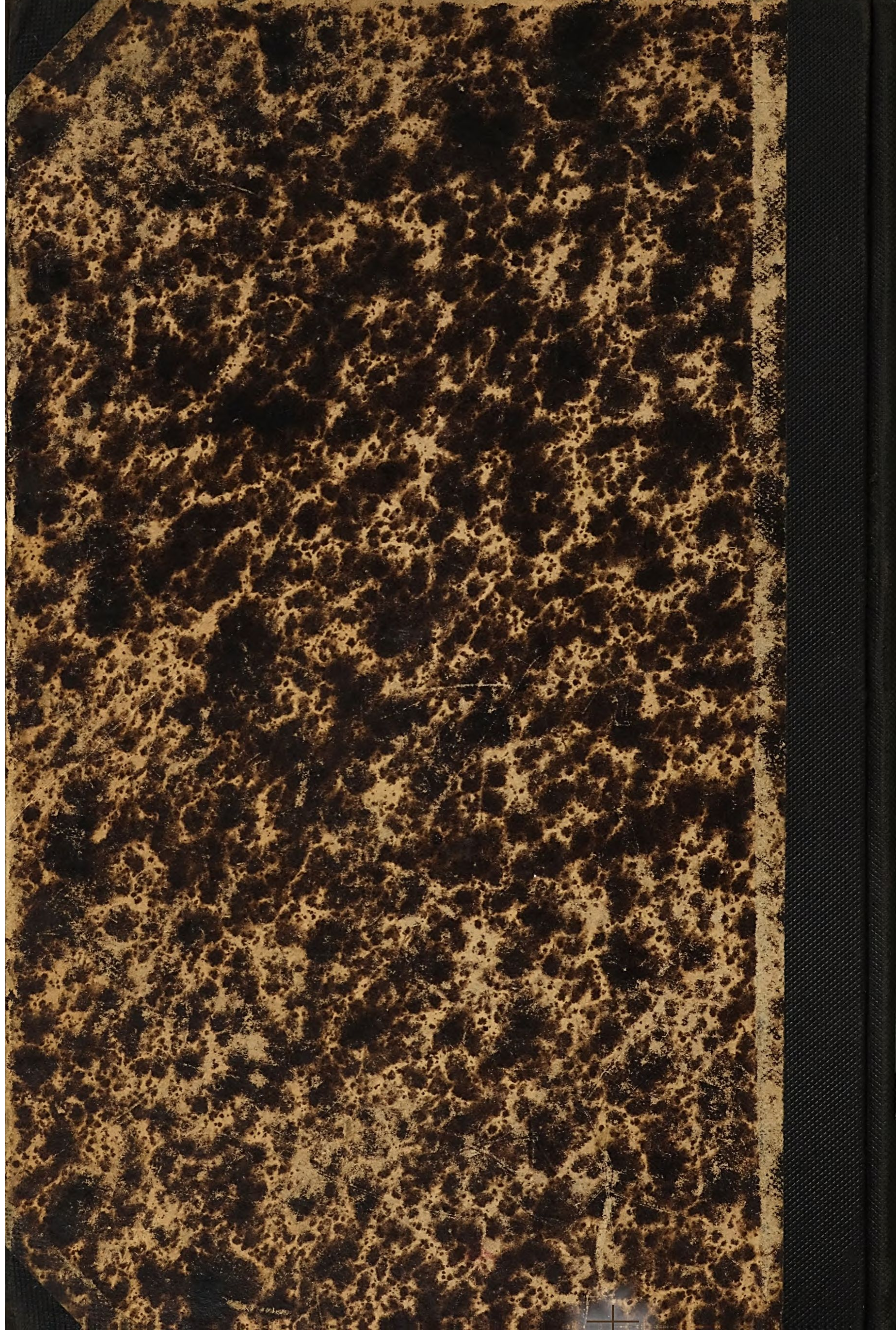
Bei der Bearbeitung des Wölbsteines kann man auch den umgekehrten Weg einschlagen, indem man zunächst die innere Wölbfläche herstellt und dann mittelst einer Schmiege die Lagerflächen bearbeitet.



Im Verlage von Schmorl & von Seefeld in Hannover
sind ferner erschienen:

- Launhardt, W.**, Geh. Regierungsrath, Professor, Rector der
Techn. Hochschule in Hannover. Ueber Rentabilität und
Richtungsfeststellung der Strassen. *M* 1,50.
— Das Massen-Nivellement. 2. Auflage. „ 2,00.
— Die Steigungsverhältnisse der Strassen. „ 1,00.
— Bestimmung der zweckmässigsten Steigungsverhältnisse
der Chausseen. „ 1,00.
- Grove, O.**, Professor der Techn. Hochschule in München.
Formeln, Tabellen und Skizzen für das Entwerfen ein-
facher Maschinentheile. Vierter Abdruck. Geheftet . „ 6,00.
Cartonirt . „ 7,00.
- Hase, W.**, Geh. Regierungsrath, Professor an der Techn.
Hochschule in Hannover. Sammlung von Zeichnungen
ausgeführter Kirchen, Schulgebäude und Privatbauten
in Haustein und Backstein. „ 40,00.
— Das Volksschulhaus. Kurze Anleitung zum Bau und zur
inneren Einrichtung desselben. „ 1,00.
— Die St. Blasiuskirche zu Mühlhausen in Th. „ 8,00.
— Die Martinikirche zu Heiligenstadt. „ 10,00.
- Ulrich, Fr.**, Professor an der Techn. Hochschule zu Hannover.
Krystallographische Figurentafeln zum Gebrauche bei
mineralogischen Vorlesungen. „ 2,00.
- Müller-Breslau, Hr.**, Dozent an der Techn. Hochschule zu
Hannover. Vereinfachung der Theorie der statisch
unbestimmten Bogenträger. „ 2,00.
- Gerke, R.**, Privat-Dozent an der Techn. Hochschule zu
Hannover. Aufgaben aus der darstellenden Geometrie,
die orthogonale Projektion und Schattenkonstruktion
für Studirende Technischer Hochschulen. „ 6,00.
— Die Linear-Perspective nebst Schattenkonstruktionen für
Studirende Technischer Hochschulen. „ 2,00.
— Die Festlegung der Böschungsschnittkurve mittels kotirter
Projektion als Beitrag zur Tracirungslehre. Für Bau-
Ingenieure und Landmesser. „ 2,00.
- Nivellements** der Preussischen Landesaufnahme in der Pro-
vinz Hannover und in den angrenzenden Landestheilen.
Auszug aus dem IV. Bande der Nivellements der tri-
gonometrischen Abtheilung der Landesaufnahme. Mit
Genehmigung der trigonometrischen Abtheilung der
Landesaufnahme herausgegeben vom Hannover'schen
Feldmesser-Verein. Mit 2 Uebersichtskarten. . . „ 2,00.





Gerke, Rudolf.

Steinschnitt der Böschungsflügel und schiefen Brückengewölbe für
Bauingenieure ; mit einem Atlas von 20 Tafeln

Bd.: [1]

Hannover 1885

A.hydr. 47 gh

urn:nbn:de:bvb:12-bsb11538582-1